ECOLE NATIONALE VETERINAIRE DE TOULOUSE

ANNEE : 1982 THESE :79

LES FARINES DE PLUMES, LEUR VALEUR NUTRITIONNELLE EN RELATION AVEC LES TRAITEMENTS PHYSICO-CHIMIQUES ET ENZYMATIQUES.

Aspects de leur valorisation en tant que protéines de substitution en alimentation animale

THESE

pour le DOCTORAT VETERINAIRE
(Diplôme d'Université)
Présentée et soutenue publiquement en 1982
devant l'Université Paul Sabatier de Toulouse

par

Samir, André MENASSA
Né le 3 Novembre 1954 à DAKAR (Sénégal)

MEMBRES DU JURY

Président : Monsieur ECALLE
Professeur de l'Université Paul Sabatier de Toulouse

Assesseurs : Monsieur GRIESS
Professeur de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse

Monsieur FALIU
Professeur de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

ECOLE NATIONALE VETERINAIRE DE TOULOUSE

ANNEE : 1982 THESE :79

LES FARINES DE PLUMES, LEUR VALEUR NUTRITIONNELLE EN RELATION AVEC LES TRAITEMENTS PHYSICO-CHIMIQUES ET ENZYMATIQUES.

Aspects de leur valorisation en tant que protéines de substitution en alimentation animale

THESE

pour le DOCTORAT VETERINAIRE
(Diplôme d'Université)
Présentée et soutenue publiquement en 1982
devant l'Université Paul Sabatier de Toulouse

par

Samir, André MENASSA
Né le 3 Novembre 1954 à DAKAR (Sénégal)

MEMBRES DU JURY

Président : Monsieur ESCALLE
Professeur de l'Université Paul Sabatier de Toulouse
Assesseurs : Monsieur GRIESS
Professeur de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse
Monsieur FALIU
Professeur de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse

MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE

ÉCOLE NATIONALE VÉTÉRINAIRE DE TOULOUSE

Directeur : ..... M. LAUTIE
Directeur honoraire : ..... M. FLORIO
Professeurs honoraires : ..... MM. BRIZARD
..... SAURAT
..... GODFRAIN

PERSONNEL ENSEIGNANT

CHAIRE DE PHARMACIE ET TOXICOLOGIE

Professeur titulaire : ..... Mme BURGAT-SACAZE
Maître-Assistant : ..... M. PETIT

Pharmacie et Toxicologie

CHAIRE DE PHYSIQUE ET CHIMIE BIOLOGIQUES ET MÉDICALES

Professeur titulaire : ..... MM. RICO
Professeur sans chaire : ..... BRAUN
Maître-Assistant : ..... BENARD

Physique biologique et médicale
Chimie biologique et médicale
Informatique biologique et médicale

CHAIRE D'ANATOMIE DES ANIMAUX DOMESTIQUES

Professeur titulaire : ..... MM. PAVAUX
Maître-Assistant : ..... LIGNEREUX
Maître-Assistant : ..... SAUTET

Organogénèse - Tératologie
Anatomie Générale - Anatomie appliquée

CHAIRE DE PHYSIOLOGIE, PHARMACODYNAMIE ET THÉRAPEUTIQUE

Professeur titulaire : ..... MM. RUCKEBUSCH
Professeur sans chaire : ..... FARGEAS
Maître-Assistant Agrégé : ..... TOUTAIN

Physiologie - Pharmacodynamie - Thérapeutique

CHAIRE D'HISTOIRE - ANATOMIE PATHOLOGIQUE

Professeur titulaire : ..... MM. VAN HAVERBEKE
Professeur sans chaire : ..... CABANIE
Maître-Assistant : ..... MAGNOL

Histologie - Embryologie
Anatomie Pathologique - Clinique

CHAIRE D'HYGIÈNE ET INDUSTRIE DES ALIMENTS D'ORIGINE ANIMALE

Professeur titulaire : ..... MM. LABIE
Maître de Conférence : ..... EECKHOUTTE
Maître Assistant Agrégé : ..... Mme BENARD

Hygiène, Inspection, Contrôle et Technologie des denrées alimentaires
d'origine animale - Clinique

CHAIRE DE PARASITOLOGIE ET MALADIES PARASITAIRES

Professeur titulaire : ..... MM. DORCHIES
Maître de Conférences : ..... FRANC
Maître Assistant : ..... DUCOS DE LAHITTE

Zoologie appliquée - Écologie - Parasitologie externe -
Dermatologie Parasitologie interne - Clinique

CHAIRE DE SEMIOLOGIE ET PATHOLOGIE MÉDICALE DES ÉQUIDÉS ET CARNIVORES ET DE LEGISLATION

Professeur titulaire : ..... MM. LESCURE
Maitre de Conférences : ..... GUELFI
Maitre Assistant : ..... REGNIER

Sémiologie et Pathologie Médicale des Équidés et Carnivores
Législation Vétérinaire et Déontologie Clinique

CHAIRE DE PATHOLOGIE MÉDICALE DU BÉTAIL ET DES ANIMAUX DE BASSE-COUR

Professeur titulaire : ..... MM. TOURNUT
Maitre de Conférences : ..... BEZILLE
Maitre Assistant : ..... JOUGLAR

Sémiologie et Pathologie Médicale du Bétail
et des animaux de basse-cour
Clinique - Consultation itinérante

CHAIRE DE PATHOLOGIE CHIRURGICALE

Professeur titulaire : ..... MM. CAZIEUX
Maitre de Conférences : ..... GENEVOIS
Maitre Assistant : ..... AUTEFAGE
Maitre Assistant : ..... FAYOLLE

Propédeutique et Sémiologie chirurgicale - Radiologie -
Technique chirurgicale - Anesthésiologie - Pathologie Chirurgicale -
Traumatologie - Podologie orthopédique - Clinique

CHAIRE DE PATHOLOGIE DE LA REPRODUCTION

Professeur titulaire : ..... MM. FERNEY
Professeur sans chaire : ..... ROYAL

Pathologie de l'appareil génital et de la mamelle -
Sémiologie et propédeutique - Pathologie de la Reproduction -
Obstétrique et pathologie du nouveau-né Clinique -
Consultation itinérante

CHAIRE DE MALADIES CONTAGIEUSES - ZOONOSES - LÉGISLATION SANITAIRE

Professeur titulaire : ..... MM. CHANTAL
Maitre Assistant : ..... PICAVET

Épidémiologie - Maladies Contagieuses
Zoonoses - Législation sanitaire - Clinique

CHAIRE DE PATHOLOGIE GÉNÉRALE - MICROBIOLOGIE - IMMUNOLOGIE

Professeur titulaire : ..... MM. LAUTIE
Maitre Assistant : ..... PELLERIN
Maitre Assistant : ..... MILON

Microbiologie - Immunologie -
Pathologie Générale

CHAIRE D'ÉLEVAGE ET ÉCONOMIE

Professeur titulaire : ..... MM. QUEINNEC
Professeur sans chaire : ..... DARRE
Maitre Assistant : ..... Mme QUEINNEC

Ethnologie - Génétique animale - Extérieur - Zootechnie et économie générales -
Ethologie appliquée, Sciences, Techniques, Economie de l'Élevage et des Productions animales -
Insémination artificielle - Organisation de l'Élevage

CHAIRE D'ALIMENTATION

Professeur titulaire : ..... MM. FALIU
Professeur sans chaire : ..... GRIESS
Maitre Assistant : ..... ENJALBERT

Botanique appliquée et bromatologie
Agronomie - Alimentation

CHARGÉS D'ENSEIGNEMENT

MM. les Professeurs ANGELIER, ARMENGAUD, COMBES, COMBRET, CROS, FERNET et MAZENC.

La Faculté et l'Ecole déclarent n'être pas responsables des opinions émises par les candidats (délibération de a Faculté en date du 10 mai 1981 et du Conseil de l'Ecole en date du 13 juin 1924.)

A MON PERE

Témoignage de mon affection
et de ma reconnaissance.

A MA MERE

Pour la présence constante
et les sacrifices qu'elle a consentis
à la réussite de ses enfants,

Toute ma tendresse.

A MA FEMME CHRISTINE

En gage d'amour.

A MA SOEUR, A MES FRERES

A TOUS LES MEMBRES DE MA FAMILLE ET BELLE-FAMILLE

A MES MAITRES

A NOTRE PRESIDENT DE THESE

Monsieur le Professeur ECALLE
de l'Université Paul Sabatier de Toulouse

Qui a bien voulu nous faire l'honneur
de présider notre jury de thèse.

Hommage respectueux.

A NOTRE JURY DE THESE

Monsieur le Professeur GRIESS
de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse

Puissiez-vous trouver exprimée notre profonde reconnaissance pour la bienveillance et l'intérêt que vous nous avez témoignés durant nos études.

Hommages respectueux.

Monsieur le Professeur FALIU
de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse

Votre patience et votre compétence nous ont sans cesse guidés

En témoignage de notre gratitude et de notre profond respect.

A MONSIEUR AIME MENASSA
DOCTEUR INGENIEUR AGRONOME DE
La Société AGRO-DEVELOPPEMENT de PARIS

Qui nous a proposé notre sujet de thèse
et auprès duquel nous avons toujours
trouvé la meilleure compréhension

En témoignage de notre sympathie.

AUX DOCTEURS VETERINAIRES:

- MAZEL de MONTIGNAC (Dordogne)
- BEL de MIRAMAS (Bouches du Rhône)
- BOUSQUET de THENON (Dordogne)

En témoignage de ma reconnaissance.

LES FARINES DE PLUMES

LEUR VALEUR NUTRITIONNELLE EN RELATION

AVEC LES TRAITEMENTS PHYSICO-CHIMIQUES ET ENZYMATIQUES

-:-:-

ASPECTS DE LEUR VALORISATION EN TANT QUE

PROTEINES DE SUBSTITUTION EN ALIMENTATION ANIMALE

-:-:-

P L A N

I N T R O D U C T I O N

Première Partie : Généralités

A - Données technico-économiques

1° - Production de viande de volaille

2° - Tonnage potentiel disponible en plumes

B - Les plumes

1° - Description

2° - Mode de récupération

3° - Variation interspécifique

4° - Propriétés physico-chimiques

4° - 1 Biochimie

4° - 2 Analyse élémentaire

C - Rappel sur la valeur biologique des protéines

1° - Valeur biologique

2° - Mesure de la valeur biologique

2° - 1 Méthode biologique

2° - 2 Méthode microbiologique

2° - 3 Méthode chimique

Deuxième Partie : Etude descriptive des techniques traditionnelles d'hydrolyse et de l'hydrolyse enzymatique des plumes

A - Les hydrolyses chimiques

1° - Solubilisation de la kératine de plumes par la soude à chaud

2° - Orientation des recherches vers des techniques d'hydrolyses chimiques plus douces

2° - 1 Essai comparatif avec le thioglycolate, l'urée + sulfate d'ammonium, le sulfure de sodium et le carbonate de soude

2° - 2 Utilisation du réactif de Schweitzer

2° - 3 Utilisation de la chaux hydratée

2° - 4 Solubilisation des plumes par le diméthylformamide

B - Les hydrolyses par la vapeur vierge avec ou sans additif chimique

1° - Hydrolyse par la vapeur vierge

2° - Hydrolyse par la vapeur avec accélérateur chimique

C - Les hydrolyses enzymatiques

1° - Hydrolyse enzymatique des plumes de poulets selon le procédé de DUCROO et JAKUBZAK

2° - Hydrolyse enzymatique des plumes de poulets selon le procédé de PRENASETTA

Troisième Partie : Les technologies de transformation des plumes et l'influence des traitements physico-chimiques et enzymatiques sur la valeur nutritionnelle des farines obtenues

A - Les protéines kératiniques dans l'alimentation animale

1° - Intérêt de leur composition brute

2° - Les farines de plumes traditionnelles en tant que protéines de substitution dans les rations en alimentation animale

2° - 1 Utilisation chez le poulet

2° - 2 Utilisation chez les pondeuses

2° - 3 Utilisation chez le porc

2° - 4 Utilisation chez les ruminants

B - Influence des traitements physico-chimiques et enzymatiques sur la valeur nutritionnelle des farines de plumes

1° - Problèmes posés par le traitement de la kératine de plumes

2° - Etude comparative des différents procédés

2° - 1 Les hydrolyses chimiques

2° - 2 Les hydrolyses par la vapeur

2° - 3 Les hydrolyses enzymatiques

Quatrième Partie : Etude économique

A - Investissements

1° - Matériels

2° - Génie civil

3° - Recettes

B - Amortissements

C - Frais financiers

D - Coût d'exploitation

1° - Energie

2° - Main d'oeuvre

3° - Entretien-Maintenance

E - Compte d'exploitation prévisionnel

C O N C L U S I O N

I N T R O D U C T I O N

L'alimentation rationnelle du cheptel animal de nombreux pays repose sur leur approvisionnement en tourteau de soja par l'étranger.

La "crise du soja" de 1973 provoqua un regain d'intérêt pour les sous-produits protéiniques capables de se substituer aux produits d'importation.

Dans cette perspective, compte tenu de la forte production française en viande de volaille, le cinquième quartier avicole se présentait comme une source de sous-produits abondants et facilement disponibles.

Les plumes, de par leur haute teneur en protéines, s'avéraient comme un matériel de choix pour la fabrication d'une farine protéique compétitive.

Nous nous proposons ici de faire le point sur les technologies de transformation des plumes en farine.

Nous évoquerons les hydrolyses classiques mises en oeuvre de par le passé, puis nous développerons l'hydrolyse enzymatique proprement dite en démontrant, au fil de notre cheminement, la supériorité de cette technique en relation avec le produit fini.

Nous analyserons enfin l'impact d'une telle farine en tant que protéine de substitution compte tenu de la conjoncture mondiale des produits protéagineux.

UNIV. LYON LOCAL

Première Partie

G E N E R A L I T E S

-:-:-

A - Données technico-économiques

Nous allons, à l'aide de statistiques de production, évaluer la disponibilité théorique puis pratique en plumes du marché.

Il convient de préciser néanmoins que les chiffres que nous possédons pour les années échues sont faibles, cet état de fait résultant du peu d'intérêt rencontré pour les farines de plumes (en dehors des périodes de pénurie), en relation avec leur technologie de fabrication actuelle.

1°- La production de viandes de volaille M.A. 1980 §23§

La production de viandes de volaille a augmenté en 1980 par rapport à 1979 de 13,5 %; elle s'élève pour l'ensemble des volailles à 919 032 tonnes.

Les volailles du genre Gallus représentent 72 % de la production totale.

Sur les 1 700 abattoirs de volaille recensés, les 790 immatriculés ont produit 825 000 tonnes, soit 89,7 % de la production totale.

Les 121 agréés à l'exportation 559 593 tonnes, soit 60,8 % de la production totale.

ACTIVITES DES ABATTOIRS DE VOLAILLE PAR DEPARTEMENT

a) plus de 50 000 tonnes par an: 4 départements

- 56 Morbihan	129 835	T
- 29 Finistère	127 108,3	T
- 22 Côtes du Nord	100 981,3	T
- 85 Vendée	85 868,4	T
	443 793	T soit 48,2 % du tonnage total

b) de 20 000 à 50 000 tonnes par an : 7 départements

- 44 Loire Atlantique	27 912,9 T	
- 26 Drôme	27 680,4 T	
- 01 Ain	25 986,2 T	
- 53 Mayenne	25 859,7 T	
- 45 Loiret	23 588,2 T	
- 79 Deux Sèvres	22 238,3 T	
- 71 Saône & Loire	21 032,3 T	
	174 298 T	soit 18,9 % du tonnage total

c) de 10 000 à 20 000 tonnes par an : 14 départements

- 40 Landes	19 523,7 T	
- 72 Sarthe	17 160,9 T	
- 37 Indre & Loire	16 826,8 T	
- 41 Loir & Cher	16 168,4 T	
- 03 Allier	14 747,9 T	
- 35 Ille & Vilaine	14 304,5 T	
- 59 Nord	13 071,0 T	
- 28 Eure & Loire	11 905,3 T	
- 49 Maine & Loire	11 738,2 T	
- 30 Gard	11 591,1 T	
- 61 Orne	11 359,4 T	
- 18 Cher	11 168,5 T	
- 32 Gers	10 817,5 T	
- 42 Loire	10 132,7 T	
	190 515,9 T	soit 20,7 % du tonnage total

d) de 5 000 à 10 000 tonnes par an : 6 départements

- 62 Pas de Calais	8 714,3 T	
- 24 Dordogne	5 923,2 T	
- 76 Seine Maritime	5 719,9 T	
- 02 Aisne	5 427,5 T	
- 84 Vaucluse	5 364,8 T	
- 27 Eure	5 127,8 T	
	37 277,5 T	soit 4,05 % du tonnage total

e) de 1 000 à 5 000 tonnes par an : 21 départements

- 11	Aude	4 864,8 T
- 63	Puy de Dôme	4 643,9 T
- 69	Rhône	4 451,7 T
- 31	Haute Garonne	4 355,6 T
- 13	Bouches du Rhône	4 347,3 T
- 77	Seine & Marne	4 098,3 T
- 78	Vosges	4 038,0 T
- 47	Lot & Garonne	3 901,9 T
- 33	Gironde	3 510,1 T
- 89	Yonne	2 537,4 T
- 51	Marne	2 451,1 T
- 67	Bas Rhin	2 301,7 T
- 81	Tarn	2 247,6 T
- 64	Pyrénées Atlantiq.	1 889,4 T
- 10	Aube	1 695,9 T
- 80	Somme	1 613,2 T
- 17	Charente Maritime	1 293,4 T
- 46	Lot	1 208,5 T
- 87	Haute Vienne	1 123,0 T
- 16	Charente	1 060,3 T
- 38	Isère	1 037,6 T
		58 670,7 T soit 6,3 % du tonnage total

ABATTAGES COMPARES DE VOLAILLE DEPUIS 1975 (en tonnes)

(Sources D.S.V 1980)

ESPECES	1975	1976	1977	1978	1979	1980
Volailles Genre Gallus	423 804	466 983	491 026	528 397	574 077	622 238
Dindes	93 055	111 046	123 021	136 541	166 997	183 104
Pintades	29 631	35 020	32 425	33 749	38 142	38 181
Canards	15 237	17 428	18 026	20 608	26 181	28 757
Oies	623	681	758	726	958	1 121
Divers	-	930	1 050	2 197	2 668	5 631
TOTAL	562 350	632 088	666 306	722 218	809 023	919 032

2° - Tonnage potentiel disponible en plumes *

En 1980, 594.357.930 volailles ont été abattues, ce qui représente 912.032 tonnes de viande nette.

La production théorique de plumes représente environ 41.195 tonnes (tonnage exprimé en plumes sèches).

En fait, la totalité de ces 41.195 tonnes n'est pas récupérée et ce n'est seulement qu'au niveau de certains abattoirs et industries de seconde transformation que s'effectue la collecte.

Il n'existe pas de statistiques précises concernant la récupération régionale des sous-produits de volailles qui reste fonction d'un grand nombre de paramètres, notamment:

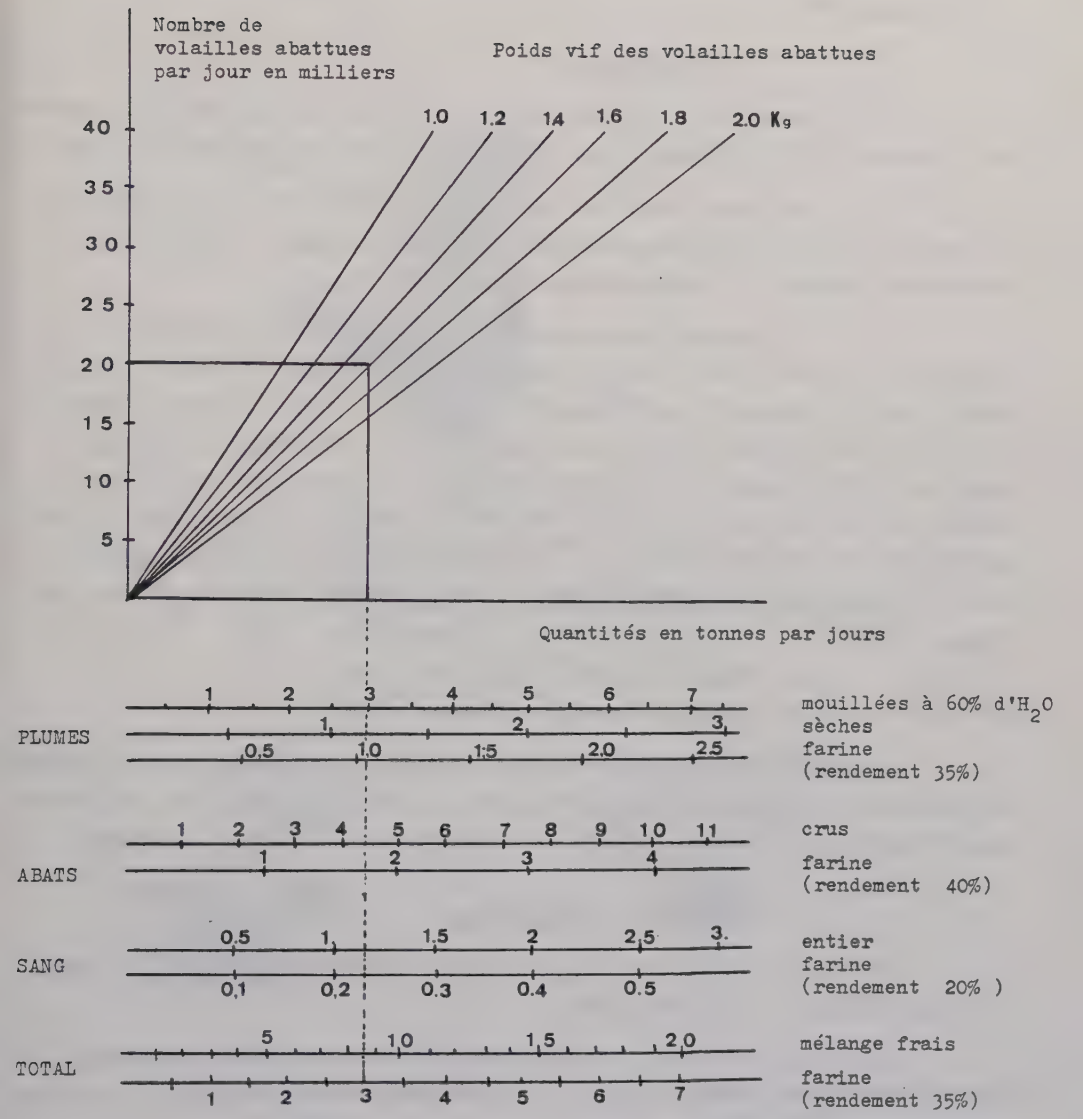
- densité de production régionale;
- implantation et dimensions des abattoirs;
- existence d'unités de traitement de sous-produits annexées à l'abattoir;
- existence d'industries de seconde tranformation;
- cours du marché régional de sous-produits.

Selon certains constructeurs, le seuil de 80 000 volailles abattues par semaine serait nécessaire pour envisager une récolte et une valorisation de sous-produits.

Nous pensons affirmer en conclusion, qu'une grande partie de la production de plumes reste disponible.

L'utilisation de nouvelles techniques de transformation des plumes ainsi que nous allons le voir, devrait absorber la quasi totalité de la production dès lors que la farine obtenue sera compétitive de par sa composition et son prix de revient.

* statistiques provenant du secteur industriel seulement.



QUANTITES POTENTIELLES DE SOUS - PRODUITS ET DE FARINES EN FONCTION DES CAPACITES DE PRODUCTION DES ABATTOIRS

(D'après APRIA-ITAVI 1976)

B - Les plumes

1° - Description

Les plumes sont le résultat de la production cutanée (ou phanère) des oiseaux; on en distingue deux sortes fondamentales (cf schémas page):

- la plume simple ou duvet se présente comme une courte tige du sommet de laquelle s'échappent des filaments libres ou barbes; à la naissance l'oiseau n'a habituellement que des duvets.

- la deuxième sorte correspond aux pennes; celles-ci se composent d'un axe, creux dans sa partie proximale (hampe) plein dans sa partie distale (rachis), sur lequel s'insèrent de part et d'autre, dans le même plan, des filaments parallèles entre eux, les barbes, qui portent à leur tour des filaments plus petits(barbules) unis ou non les uns aux autres par des crochets. la hampe s'ouvre à l'extérieur par un orifice ou ombilic d'où part très souvent, à l'opposé de l'axe plein, un filament plus ou moins long, porteur de barbes (l'hyporachis). Les pennes sont de divers types:-les tectrices couvrent le corps
-les remiges s'insèrent sur les ailes
-les rectrices forment la queue.

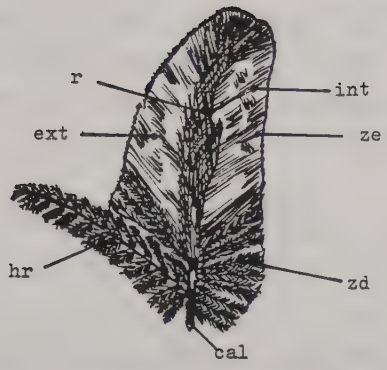
Les plumes sont produites par des papilles dermo-épidermiques selon un processus complexe. Le derme n'a qu'une fonction nourricière, la couche génératrice de l'épiderme (couche de MALPIGHI) joue le rôle essentiel.

2° - Mode de récupération

Le mode de récupération des plumes est différent selon le degré d'industrialisation des abattages.

Nous citerons ici, pour mémoire, le secteur traditionnel qui n'offre que peu d'intérêt du fait des problèmes de ramassage et de sa faible production unitaire en plumes.

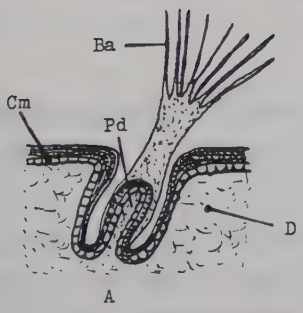
Dans le secteur industriel, les plumes sont enlevées à l'aide de machines, ce qui implique qu'elles soient mouillées d'eau chaude à 52°C. C'est la phase d'échaudage dont l'effet maximal est obtenu grâce à une température constante et à une circulation efficace de l'eau.



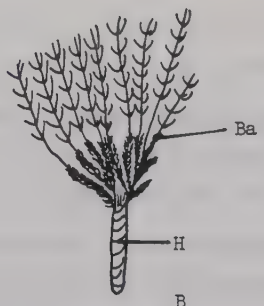
-SCHEMA D'UNE PLUME-

cal : partie creuse de l'axe (hampe)
r : partie pleine
zd : zone à barbes molles et libres
ze : zone à barbes raides accrochées les unes aux autres
hr : hyporachis

(d'après CHANDLER)



A



B

- LE DUVET -

A . Duvet en cours de croissance

Ba : barbe
cm : couche proliféatrice de l'épiderme
D : derme
Pd : papille dermique

(d'après SHIPLEY et MAC BRIDE)

B . Duvet complètement développé

Ba : barbe
H : hampe

(d'après GADOW)

Les plumes sont donc livrées mouillées (60 % d'humidité) ou juste essorées (10 % d'humidité).

Malheureusement souvent souillées de déchets, elles sont dans cet état très sensibles aux phénomènes de putréfaction. Elles doivent donc être immédiatement utilisées ou bien lavées, essorées et séchées en attendant leur utilisation ultérieure.

3° - Variation interspécifique

Il n'a pas été décelé de constituant qui soit particulier à une espèce.

L'analyse chimique révèle qu'il existe peu de différences, les variations les plus importantes semblent être dues, plus particulièrement à l'âge des animaux, la proportion d'eau étant notablement plus élevée chez les jeunes que les adultes.

4° - Propriétés physico-chimiques

4° - 1 Biochimie

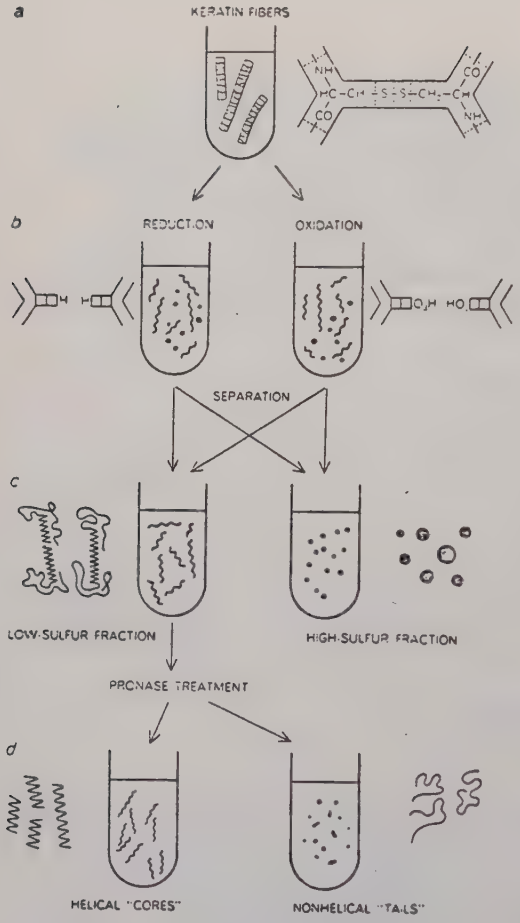
La kératine est le principal constituant des plumes; elle appartient au groupe des scléroprotéines.

Les scléroprotéines sont insolubles dans l'eau froide, même en présence de sels d'acide ou de base dilués, et se révèlent résistantes à l'hydrolyse des protéases.

Les caractères de résistance de la kératine sont en relation avec sa richesse en cystéine qui lui confère, après formation de ponts inter et intra-peptidiques de type covalent, une structure tertiaire sous forme d'hélices imbriquées les unes dans les autres formant ainsi de véritables filins.

Le nombre de brins ainsi que la structure tertiaire peuvent varier en fonction de l'origine de la kératine; ainsi il est généralement admis que les mammifères synthétisent de l'alpha-kératine alors que les oiseaux et reptiles synthétisent de l'alpha et de la béta-kératine (voir schémas page suivante).

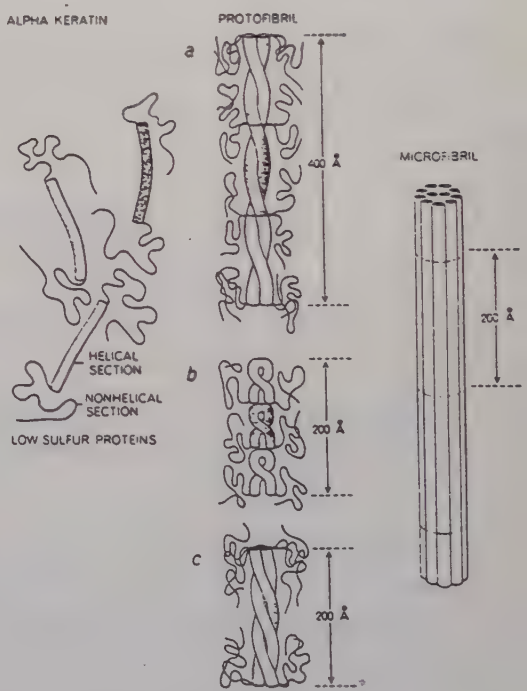
Bien que la structure de la béta-kératine n'ait pas encore été clairement élucidée, les kératines se présentent comme un groupe de protéines remarquables tant par leur homogénéité structurale que par leurs caractéristiques biochimiques.



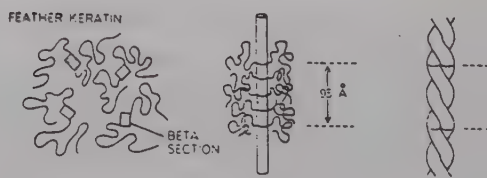
(I)

(I) Structure de la kératine et ses propriétés de résistance

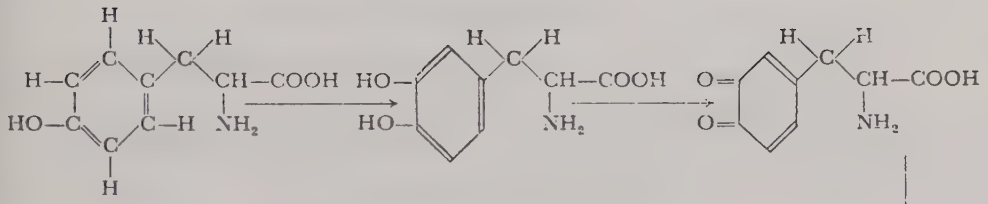
D'après FRASER - Sci.Am. 1969 N° 2 - 221



(II) Approche de la structure moléculaire des alpha et beta-kératines



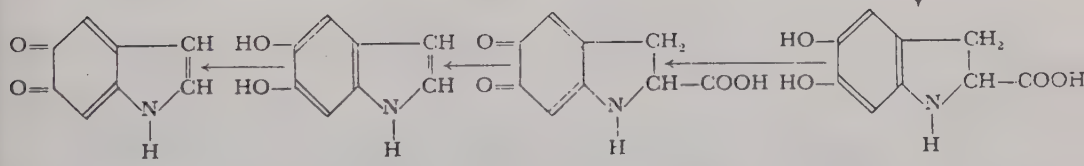
Béta-kératine



Tyrosine

3,4 Dihydroxy-phenylalanine (Dopa)

Dopa quinone



Indole 5,6 quinone

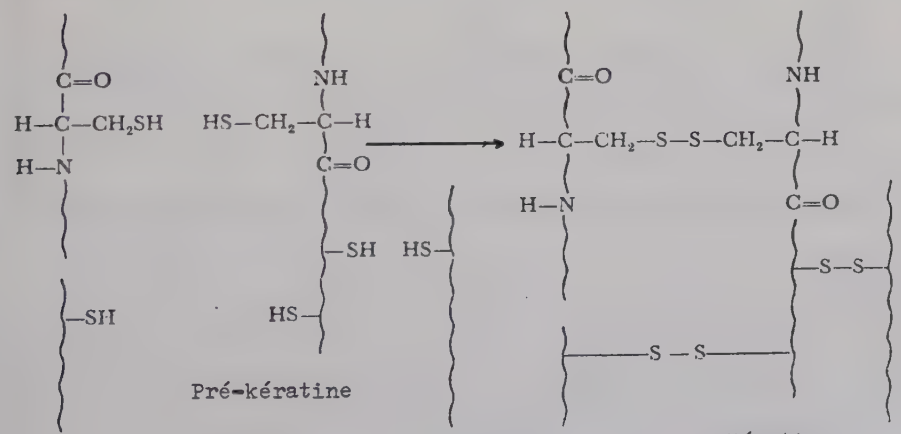
5,6 Dihydro-xy indole

2 Carboxy 2,3 dihydroindole 5,6 quinone

2 carboxy 2,3 dihydro 5,6 dihydroxyindole

Polymérisation

Mélanine



Pré-kératine

Kératine

(D'après W.M Ashton)

4° - 2 Analyse élémentaire

Les plumes ont une teneur élevée en protéines.

La kératine constitue environ 85 à 90 % de la matière azotée.

L'analyse chimique révèle peu de variations, c'est donc une matière première constante quant à sa composition dans la mesure d'une collecte effectuée dans des conditions correctes.

Composition brute de plumes du genre Gallus (d'après APRIA 1976 §

- humidité 12 %
- matière azotée 83 %
- matière grasse 1,5 %
- minéraux 1,2 %

Analyse de plumes (lavées, séchées, broyées, fournies par un abattoir industriel (d'après DUCROC et JAKUBCZAK 1977 § **5** §)

- teneur en eau 4,7 %
- teneur en protéines (N x 6,25) 93,9 %
- matière grasse 1,7 %
- cendres 0,7 %

Composition en amino-acides des plumes vierges (en g pour 100 g de produit sec) Cf tableau page suivante.

AMINO-ACIDES	VALEUR MOYENNE SUR 5 ECHANTILLONS (en g/ 100 g de MS) d'après DUCROO et JAKUBCZAK - 1977	VALEUR (ramené en g/ 100 g de MS sur la base de 83 % de MAT) d'après BLOCK et BOLLING - 1951
A S P	5,28	6,39
T H R	4,29	3,81
S E R	10,35	8,46
G L U	9,75	8,30
P R O	8,68	3,32
G L Y	5,41	-
A L A	3,24	-
1/2 C Y S T I N E	7,62	-
V A L	5,65	7,38
M E T	0,42	0,41
I L E U	3,91	5,31
L E U	6,60	7,05
T Y R	2,49	1,90
P H E	4,14	4,56
H I S	0,43	0,49
L Y S	1,38	1,49
A R G	6,13	6,64
C Y S	-	7,22

C - Rappel sur la valeur biologique des protéines

L'appréciation d'une protéine passe par une bonne connaissance de sa valeur biologique et de la mesure de celle-ci; nous allons rapidement évoquer ici quelques uns de ces aspects.

1° - Valeur biologique

La valeur biologique d'une protéine alimentaire se définit par son aptitude à être transformée par un organisme considéré en protéine spécifique.

Elle doit donc franchir la barrière digestive: c'est l'utilisation digestive qui est représentée par un coefficient de digestibilité. Ce coefficient est de 70 % à 90 % pour les protéines des aliments usuels et inférieur à 60 % pour les protéines dérivées des phanères après traitement.

L'utilisation métabolique se traduit, au niveau de la cellule par synthèse protéique. La composition intrinsèque d'une protéine, ainsi que l'ont montré les travaux de OSBORNE et MENDEL en 1911 et de ROSE en 1935, revêt une importance fondamentale.

Il doit exister, en effet, une balance entre les différents amino-acides; ainsi, le développement normal d'un individu nécessite la présence d'amino-acides indispensables dans son alimentation.

Les amino-acides indispensables sont au nombre de neuf:

- LEUCINE
- ISOLEUCINE
- VALINE
- METHIONINE
- THREONINE
- LYSINE
- PHENYLALANINE
- TRYPTOPHANE
- HISTIDINE

Il existe des variations en fonction:

x de l'espèce: chez les oiseaux, il faut ajouter GLYCINE et ARGININE et noter l'absence de cycle de KREBBS-HENSLEIT

chez l'homme , l'HISTIDINE est indispensable.

* de l'état physiologique : - production (gestation, ponte)
- entretien
- croissance

Il existe d'autres Amino-Acides semi-indispensables (car ne pouvant être synthétisés qu'à partir de certains acides aminés indispensables)

CYSTINE ($\xleftarrow{S}$ METHIONINE)
TYROSINE ($\xleftarrow{S}$ PHENYLALANINE)

Le rapport $\frac{\text{Amino-Acides Indispensables}}{\text{Amino-Acides Banaux}}$ doit se situer entre 2 et 3.

Un autre aspect concerne la composition d'une protéine alimentaire en regard de la protéine devant être synthétisée; leurs compositions devront être voisines si l'on veut éviter l'apparition de facteur limitant.

Nous citerons enfin pour être complet, des facteurs extrinsèques (qui demeurent nécessaires à toutes les réactions métaboliques), tels que:
- la valeur énergétique de la ration (glucides, lipides)
- les teneurs en éléments minéraux et vitamines.

2° - Mesure de la valeur biologique

Les méthodes de mesure sont nombreuses et imparfaites.

2° - 1 Méthode biologique

Coefficient d'Efficacité Protéique:

$$C.E.P. = \frac{\text{Gain de poids}}{\text{Quantité de protéine ingérée}}$$

Utilisation Protéique Nette:

$$U.P.N. = \frac{\text{Ncorporel PN} - \text{Ncorporel PNo}}{\text{N Ingéré}}$$

{ PN :régime avecN
{ PNo:régime sansN

Valeur Biologique:

$$V.B. = \frac{NI - (NF-Nf) - (NV-Nu)}{NI - (NF-Nf)}$$

{ NF :Azote fécal
{ Nf :Az.féc.endogène
{ NV :Azote urinaire
{ Nu :Az.ur.endogène
{ NI :Azote ingéré

2° - 2 Méthode microbiologique

Mesure du développement de protozoaires sur un milieu à tester.

2° - 3 Méthodes chimiques

Echelle chimique de BLOCK et MITCHELL.

La composition en Amino-Acides de la protéine est comparée à la composition en Amino-Acides de la protéine de l'oeuf.

Différents rapports sont ainsi établis:

$$\frac{\text{LYSp}}{\text{LYSoeuf}} \text{ , } \frac{\text{METp}}{\text{METoeuf}} \text{ , etc...}$$

Les pourcentages de déficit négatifs sont les seuls retenus et la valeur biologique de la protéine est exprimée par une grandeur (échelle chimique) obtenue en soustrayant le pourcentage du déficit le plus élevé de 100.

Deuxième Partie

ETUDE DESCRIPTIVE DES TECHNIQUES TRADITIONNELLES D'HYDROLYSE ET DE L'HYDROLYSE ENZYMATIQUE DES PLUMES

-:-:-

Les propriétés de résistance de la kératine trouvent en partie leurs explications dans sa composition moléculaire (Cf biochimie).

Cette composition explique la difficulté de dégrader les protéines en regard au grand nombre de liaisons à rompre.

La rupture des ponts disulfures entre les résidus cystéine est par conséquent préalable à tout traitement.

De nombreux procédés physiques et/ou chimiques ont été expérimentés; leur application industrielle n'a pas toujours suivi compte tenu de la valeur du produit obtenu et des impératifs technologiques et économiques.

Nous allons évoquer les procédés (ainsi que leur finalité) mis en oeuvre au cours de la dernière décennie, pour terminer par la technique enzymatique.

A - Les hydrolyses chimiques

1° - Solubilisation de la kératine de plume par la soude à chaud

Selon le procédé décrit par NAGAI et NISHIKAWA - 1970 §17 §, l'hydrolyse de la kératine de plume est obtenue par action, à chaud (90°C), d'une solution de soude pendant 15 minutes.

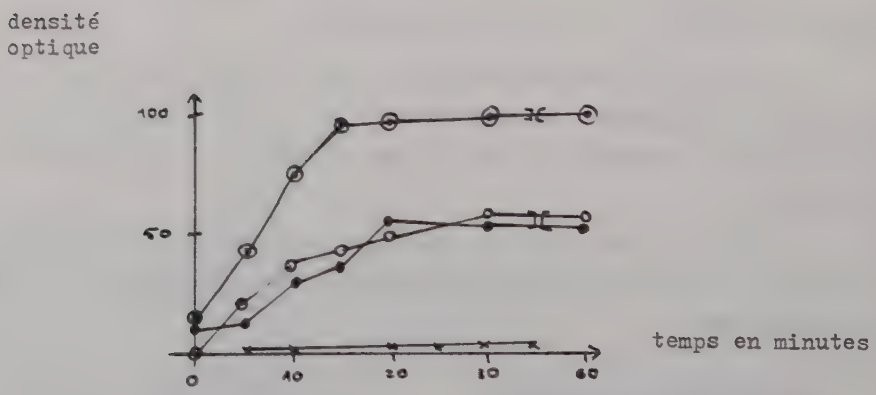
Ils font agir sur 1 gramme de poudre de plumes* 40 ml d'une solution de soude à 0,1 N en chauffant à 90°C, et ce pendant 15 minutes. 90 % de la kératine est extraite et ces paramètres sont proposés pour une méthode standard.

L'hydrolyse se traduit par une rupture en "cascade" des ponts peptidiques de la molécule de kératine, et la quasi totalité de celle-ci est solubilisée et se retrouve dans la phase liquide obtenue après filtration (fraction 1).

Celle-ci, traitée par dialyse, donne une fraction dialysable (fraction 2) et une fraction non dialysable qui, traitée par le sulfate d'ammonium, donne un précipité (fraction 3) et un surnageant obtenu après centrifugation (fraction 4).

L'analyse de ces fractions révèle les compositions suivantes:

- fraction 1 : Kératine solubilisée
- fraction 2 : Amino-Acides libres
- fraction 3 : Protéines solubles
- fraction 4 : Peptides



Estimation fractionnée des produits solubilisés

* humidité: 12,8 %
M.A.T. : 82,2 %
cendres : 0,79 %

La composition en acides aminés de la kératine et de la fraction dialysable comparée à la composition élémentaire de plumes de Leghorn, indique une augmentation de la MET, LYS, HIS et GLU, et une diminution de la THR, SER, CYS et de l'ARG.

Aminogrammes comparatifs des plumes vierges, de la kératine solubilisée et de la fraction dialysable selon NAGAI et NISHIKAWA - 1969 (résultats exprimés en $^{o}/_{oo}$)

ACIDES AMINES	KERATINE DE DEPART	FRACTION DIALYSABLE	PLUMES VIERGES(Leghorn)
ASP	54	71	59
TRH	46	13	50
SER	146	37	142
GLU	77	115	79
PRO	102	110	121
GLY	116	108	111
ALA	59	54	51
CYS (tine)	54	4	84
VAL	70	109	81
MET	6	43	17
ILEU	41	48	44
LEU	63	77	69
TYR	16	17	14
PHE	32	31	34
LYS	11	49	8
HIS	3	6	2
NH3	70	142	98
ARG	38	18	44

Le traitement par la soude permet de retrouver la moitié de la kératine de départ sous forme de fraction protéique soluble dans l'eau alors que l'autre moitié se retrouve sous forme d'acides aminés libres.

La production de polypeptides n'est pas observée pendant la solubilisation de la kératine de plume.

L'aminogramme de la kératine solubilisée est très différent de celui de la kératine de plumes vierges, notamment riche en méthionine, lysine, acide glutamique et pauvre en thréonine, sérine, cystine et arginine.

2° - Orientation des recherches vers des techniques d'hydrolyses chimiques plus douces

2° - 1 Essais comparatifs avec le thioglycolate, l'urée + sulfate d'ammonium, le sulfure de sodium et le carbonate de sodium

Les mêmes auteurs expérimentent d'autres réactifs tels que le thioglycolate, l'urée, le sulfure de sodium et le carbonate de sodium sans apporter d'amélioration notable.

Solubilisation de la kératine de plume par différentes méthodes (selon NAGAI et NISHIKAWA - 1969)

Degré de fractionnement de la solubilisation de la kératine	: SOLVANTS & PARAMETRES					
	I	II	III	IV	V	VI
A/ Pourcentage de Solubilisation	79	77	89	40	27	97
B/ Précipitation à Ph 3,5 de A (en% de A)	100	-	53	-	-	13
C/ Saturation de B par (NH4)2 SO2 (en% de A)	-	87	23	-	-	32
D/ Matériel Dialysable (en% de A)	-	13	30	-	-	155

I : 0,25 M thioglycolate (pH 11, 35°C, 24 heures)

II : 8 M urée + 0,3 M NaHSO3 (pH 6,5, 35°C, 24 heures)

III : 0,1 M Na2S (35°C, 24 heures)
IV : 0,2 M Na2CO3 (90°C, 30 minutes)
V : 0,1 M NaOH (35°C, 24 heures)
VI : 0,1 M NaOH (90°C, 30 minutes)

Le degré d'hydrolyse de la molécule de kératine, c'est-à-dire la libération de fragments libres dialysables, est équivalent à celui de la soude avec le sulfure de sodium, mais très faible avec l'urée et le thioglycolate.

2° - 2 Utilisation du réactif de SCHWEITZER (solution ammoniacale d'oxyde cuprique)

NAGAI et NISHIKAWA - 1970 § 17 § utilisent le réactif de SCHWEITZER en présence d'air sur une poudre de plumes.

Ce réactif s'avère être un puissant solubilisant de la kératine dans la proportion d'une mole d'ion cuprique pour 5 à 6 moles d'azote.

La formation de lathionine à partir des ponts S-H n'est pas observée mais les résidus cystine sont transformés en acide cystéique et se retrouvent dans la kératine solubilisée.

Le cuivre solidement fixé aux protéines permet de mesurer le poids moléculaire des fragments protéiques par passage sur colonne de chromatographie échangeuse d'ions (Sphadex).

Le réactif de SCHWEITZER s'avère donc comme un catalyseur de l'oxydation produite par l'air, transformant la cystine en acide cystéique et solubilisant la kératine sous forme de protéines d'un poids moléculaire variant de 10.000 à 60.000.

Il n'y a pas d'acide aminé libre dans la solution et l'aminogramme de la kératine solubilisée est sensiblement similaire à celui de la kératine vierge.

2° - 3 Utilisation de la chaux hydratée

Les plumes sont mélangées à de la chaux hydratée (4 % de chaux) dont le rôle est d'hydrolyser une partie de la kératine.

La digestibilité de la farine obtenue est assez médiocre.

Ce procédé, qui fut l'un des premiers à être utilisé en France, a dû être rapidement abandonné devant la faible valeur nutritive de la farine obtenue; son originalité résidait dans sa conception ultra simple et peu coûteuse.

2° - 4 Solubilisation* des plumes par le dimethyl-foramide (DMF) WD.GOODWIN - Brevet français N° 2.245.292

DUCROO et JAKUBCZAK - 1977 § 5 § vérifient les résultats obtenus par WD.GOODWIN sur cette technique de solubilisation en suivant les indications du brevet.

50 g de plumes broyées sont traitées à l'ébullition par un mélange constitué de 1,050 g de DMF + 430 g d'eau.

L'essai A est traité pendant TROIS heures.

L'essai B est traité pendant HUIT heures.

Après traitement, on obtient un gel qui, additionné d'eau de 2,5 fois son poids, précipite les protéines.

Ces protéines ne sont pas solubles puisque le mélange des deux fractions donne la quantité de plumes initialement mise en jeu.

Comparaison des résultats obtenus (d'après DUCROO et JAKUBCZAK)

ESSAI	Temps d'extraction	Résidu insoluble DMF	Fraction sol. DMF précipité par H2O	% Azote sur M.S.
A	3 HEURES	36,8 %	64 %	15,8 %
B	8 HEURES	29,5 %	70,5 %	15,9 %

* en fait, il ne s'agit pas réellement d'une solubilisation.

Aminogramme comparatif (en g pour 100 g de matières sèches)
(d'après DUCROO et JAKUBCZAK) 1977

AMINO-ACIDE	Plumes de départ valeur moyenne	FRACTION SOLUBLE DMF	
		ESSAI A	ESSAI B
Ac.cystéique	0	0	0
Ac.aspartique	5,28	5,80	5,74
Thréonine	4,29	4,39	4,45
Sérine	10,35	12,12	12,05
Ac.glutamique	9,75	8,85	9,01
Proline	8,68	10,21	10,41
Glycocolle	5,41	6,14	6,25
Alanine	3,24	3,51	3,49
1/2 cystine	7,62	6,41	4,87
Valine	5,65	5,91	6,07
Méthionine	0,42	-	-
Isoleucine	3,91	3,82	4,07
Leucine	6,60	6,60	6,57
Tyrosine	2,49	1,91	2,00
Phénylalanine	4,14	4,32	4,49
Histidine	0,43	0,10	0,19
Lysine	1,38	0,26	0,37
Arginine	6,13	5,66	5,65

Le produit final montre une perte en acides aminés basiques (LYS, HIS, ARG), une perte en cystine sans apparition d'acide cystéique.

B - Les hydrolyses par la vapeur vierge avec ou sans additifs chimiques

Ce procédé est né aux Etats-Unis au cours de la seconde guerre mondiale.

Il a été mis en application pour le traitement des plumes et phanères par BRINKEY et VASAK en 1950.

Cette cuisson sous pression est actuellement la seule technique à être utilisée industriellement.

Pour être efficace, cette méthode suppose que des paramètres déterminés de température, durée de cuisson et pression soient respectés car leur variation influe sur la valeur alimentaire du produit final.

C'est pourquoi les farines de plumes d'origines différentes montrent des variations plus ou moins importantes de leur composition et caractéristiques intrinsèques.

1° - Hydrolyse par la vapeur vierge

Selon la définition officielle, les plumes de volaille hydrolysées résultent du traitement sous pression des plumes propres et entières, provenant des poulets d'abattage sans additif ni accélérateur.

Un minimum de 75 % de ces protéines brutes doivent être digestibles, la méthode AAFCO officielle 22, 025, 9ème Ed. pouvant être utilisée pour déterminer la digestibilité (pepsine).

Les plumes sont cuites dans des fourneaux chauffés par la vapeur qui passe entre les parois.

D'après H.FULLER - 1973 § 7 §, une pression de vapeur de 80 à 100 psi est introduite entre les parois du fourneau, amenant la pression interne à 30-40 livres.

Après 35 à 45 minutes, la pression est relâchée et la bouillie qui en résulte est cuite pendant encore une heure pour chasser l'excès d'humidité.

Le produit est alors transféré dans un tube de vapeur ou séchoir à air chaud où l'humidité est réduite à nouveau à 6 % environ.

La farine de plumes ainsi obtenue est un produit abondant et agréable au goût.

Dans une étude effectuée par la Fats and Proteins Research Foundation Inc sur la composition des farines de plumes recueillies auprès de 12 producteurs qui représentaient plus de 50 % de la production américaine totale de farines de plumes, d'importantes différences de composition entre les différentes usines de traitement furent mises en évidence.

Contenu en protéine, humidité, graisse et cendre de la farine de plumes hydrolysées provenant d'usines différentes. Ecart moyen et standard (d'après Fats and Proteins Research Foudation)

Usine	N° Echantil.	Protéine	Humidité	Graisse	Cendre
A	4	84,4 ± 0,50	6,1 ± 1,03	6,0 ± 1,06	2,8 ± 0,25
B	4	84,9 ± 0,73	4,1 ± 0,97	7,7 ± 0,55	3,1 ± 0,35
C	3	85,3 ± 0,72	8,2 ± 2,33	2,2 ± 0,25	3,6 ± 1,42
D	3	87,2 ± 1,85	3,2 ± 1,78	6,1 ± 0,59	3,5 ± 1,53
E	4	89,0 ± 0,87	5,2 ± 1,61	4,9 ± 1,34	1,6 ± 0,14
F	2	89,9 ± 0,00	7,0 ± 0,28	1,0 ± 0,14	1,8 ± 0,07
G	3	85,1 ± 0,62	9,1 ± 1,97	1,2 ± 0,11	2,4 ± 0,78
H	3	85,7 ± 2,80	5,4 ± 1,70	2,8 ± 1,64	4,1 ± 2,33
I	3	86,9 ± 2,48	5,5 ± 2,50	5,8 ± 1,36	2,9 ± 0,60
J	1	86,6	8,8	3,3	1,4
K	4	87,3 ± 2,37	6,2 ± 1,39	3,9 ± 0,78	3,0 ± 2,07
Total	34	86,4 ± 2,12	6,0 ± 2,21	4,4 ± 2,26	2,8 ± 1,27

Digestibilité peptique, contenu en protéine et méthionine, cystine et lysine de la farine de plumes hydrolysées provenant d'usines différentes. Moyenne et écart type (d'après Fats and Proteins Research Foundation Inc)

Usine	Nb Echantil	Digestibilité peptique	Lysine mg/g	Méthionine mg/g	Cystine mg/g
A	4	84,4 ± 1,05	20,6 ± 1,49	4,8 ± 0,40	46,9 ± 3,47
B	4	80,5 ± 1,94	20,3 ± 1,36	4,9 ± 0,13	53,2 ± 6,08
C	3	73,7 ±10,13	18,4 ± 0,95	4,2 ± 0,15	44,3 ± 3,70
D	3	77,5 ± 1,87	20,7 ± 0,81	4,7 ± 0,43	48,1 ± 3,60
E	4	83,2 ± 4,83	15,3 ± 0,50	4,7 ± 0,26	43,4 ± 2,10
F	2	83,3 ± 2,76	11,9 ± 0,35	3,8 ± 0,00	45,0 ± 1,98
G	3	74,9 ± 5,41	14,7 ± 3,83	4,2 ± 0,56	38,9 ± 1,73
H	3	73,8 ± 5,18	19,1 ± 2,56	5,0 ± 0,50	39,7 ± 2,78
I	3	72,7 ± 1,51	17,6 ± 1,35	5,4 ± 0,31	38,6 ± 1,12
J	1	70,3	14,7	5,4	34,7
K	4	80,3 ± 5,56	15,3 ± 1,06	4,6 ± 0,25	36,6 ± 4,65
Total	34	78,5 ± 5,92	17,5 ± 3,08	4,7 ± 0,52	43,3 ± 6,13

Composition de farine de plumes hydrolysées d'origines différentes en pourcentage (d'après DAGHIR - 1975 et MENARD - 1978)

COMPOSITION :	FRANCE	AUTRES PAYS			
		(1)	(2)	(3)	(4)
Humidité	8-10	8,6	4,9	-	7
M.A.T.	75-82	82,3	85,3	82,5	80-90
M.G.	2-4	4,8	3,3	3,3	3-4
Mat.Minérales	2-3	-	-	-	1,5-5,5
Phosphore	-	0,3	-	0,75	0,5-0,8
Calcium	-	0,4	-	0,2	1,3-2,5
Cellulose Brute	1-1,5	0,8	-	1,5	0,3-0,4

(1) Daghir 1975 (Liban)
(2) Doty 1969 (Usa)
(3) Hubbel 1971 (Usa)
(4) Apria-Itavi 1976 (Cee)

Composition en acides aminés des farines de plumes hydrolysées (en pourcentage de la Matière Azotée Totale)

ACIDES-AMINES	d'après DAGHIR	d'après DOTY	d'après WISMAN
M E T	0,51	0,70	0,58
L Y S	1,50	2,30	1,76
L E U	-	6,80	8,48
H I S	-	0,70	0,46
T H R	-	3,80	4,41
G L Y	6,80	7,70	-
T Y R	-	2,10	-
V A L	-	6,40	7,45
A R G	5,60	7,30	-
T R Y	0,57	-	0,66
I L E U	-	3,70	4,33
P H E	-	3,60	4,31
C Y S (tine)	3,00	4,10	3,55

Vitamines dans les farines de plumes (d'après TERSPSTRA - 1961)

Vitamine B 2	1,93	mg/kg
Vitamine PP	17,73	mg/kg
Vitamine B 12	71	mcg/kg

Compte tenu de l'uniformité de la composition élémentaire des plumes, ces variations sont dues aux conditions de traitement.

2° - Hydrolyse par la vapeur avec un accélérateur chimique

EGGUM - 1970 § 6 § étudie la qualité des farines de plumes issues de différents traitements, notamment en utilisant un accélérateur chimique, l'acide chlorhydrique.

A l'aide de 11 échantillons de farine obtenus en faisant varier les paramètres de cuisson et la concentration d'acide chlorhydrique, il compare:

- les compositions en acides aminés (AAC)
- la digestibilité réelle (TD)
- la valeur biologique (BV)
- l'utilisation protéique nette (NPU)

Les différents traitements appliqués sont les suivants:

Echantillon I : Traité par la vapeur à une pression de 3 atmosphères pendant 75 minutes-
Séchage à 60°C.

Echantillon II : Traité par la vapeur avec une montée croissante de la pression jusqu'à 4,2 atmosphères pendant 45 minutes puis retour à la normale pendant le même temps-
Séchage à 60°C.

Echantillon III: Idem échantillon II-
Plumes d'origines différentes.

Echantillon IV : Idem échantillon II-
Cuisson à la vapeur avec une solution d'acide chlorhydrique à 1 %.

Echantillon V : Idem échantillon II-
Pression maximum à 3,2 atmosphères.

Echantillon VI : Ebullition à reflux pendant une heure à pH 4 (acide chlorhydrique)-
Lyophilisation.

Echantillon VII: Ebullition à reflux pendant deux heures à pH 4 (acide chlorhydrique)-
Lyophilisation.

Echantillon IIX: Ebullition à reflux pendant quatre heures à pH 4 (acide chlorhydrique)-
Lyophilisation.

Echantillon IX : Ebullition à reflux pendant vingt heures à pH 4 (acide chlorhydrique)- Lyophilisation.

Echantillon X : Ebullition à reflux pendant vingt heures à pH 6 (acide chlorhydrique)- Lyophilisation.

Echantillon XI : Ebullition à reflux pendant vingt heures à pH 2 (acide chlorhydrique)- Lyophilisation.

Les critères de valeur biologique (BV), de digestibilité (TD) et d'utilisation protéique (NPU) sont mesurés par des essais biologiques sur des lots de rats.

Une caséine (celle-ci étant totalement digestible - EGGUM 1967) est distribuée en même temps dans la ration afin de déterminer la part de l'indigestible provenant des plumes.

Composition en Acides-Aminés des plumes vierges (résultats exprimés en g/16 g de N) d'après EGGUM - 1967

ACIDES-AMINES	VALEURS (en g/16 g N)
Lysine	2,22
Méthionine	0,83
Cystine	9,02
Méthionine-Cystine	9,85
Acide Aspartique	6,71
Thréonine	5,21
Sérine	12,52
Acide Glutamique	12,11
Glycine	7,92
Alanine	4,29
Valine	7,97
Iso-Leucine	5,25
Leucine	8,40
Tyrosine	3,11
Phényl-alanine	4,91
Histidine	0,80
Arginine	7,08
Tryptophane	0,86
N en pourcentage de la M.S.	15,43

Qualités des protéines de farine de plumes après différents traitements par la vapeur et adjonction d'acide chlorhydrique (résultats exprimés en g/16 g de N) d'après EGGUM - 1970

	ECHANTILLONS				
ACIDES AMINES	I	II	III	IV	V
Lysine	1,95	2,22	2,15	1,97	2,08
Méthionine	0,70	0,60	0,56	0,57	0,72
Cystine	6,12	5,04	4,48	6,57	6,29
Méthionine+Cystine	6,82	5,64	5,04	7,14	7,01
Acide Aspartique	8,84	6,37	6,26	6,08	6,58
Thréonine	5,22	4,65	4,47	4,47	4,84
Sérine	11,77	9,23	11,16	10,99	11,81
Acide Glutamique	11,59	11,45	11,47	10,66	11,19
Glycine	9,111	8,36	7,32	7,08	7,54
Alanine	4,97	4,74	4,25	4,16	4,30
Valine	7,69	8,32	7,17	7,18	7,25
Iso-Leucine	4,86	5,19	4,82	4,71	4,82
Leucine	8,56	8,44	7,89	7,69	8,05
Tyrosine	2,10	3,16	2,97	2,40	2,48
Phényl-Alanine	4,78	5,12	4,85	4,52	4,61
Histidine	0,79	0,63	0,64	0,63	0,72
Arginine	5,29	7,04	6,50	6,38	6,15
Tryptophane	-	0,71	0,52	0,58	0,73
N en pourcentage de la matière sèche	15,34	15,23	15,68	15,37	15,38
N de la farine de plumes en pourcentage de la ration	100,00	100,00	50,00	50,00	50,00
Critères biologiques de la protéine TD1	53,00%	80,20%	78,90%	80,40%	83,80%
TD2	-	-	89,40%	90,20%	91,90%
BV	61,80%	50,00%	67,00%	78,20%	77,70%
NPU	33,10%	40,70%	60,10%	70,50%	71,30%

TD1: Digestibilité réelle des protéines de farine de plumes seule

TD2: Digestibilité réelle des protéines de farine de plumes + caséine

A l'aide des résultats qu'il obtient pour les cinq premiers échantillons (Cf tableau page précédente), EGGUM note une baisse sensible du pourcentage de chacun des acides aminés.

La cystine diminue notablement dans tous les échantillons, indiquant qu'une partie de celle-ci s'est transformée en lanthionine avec une accentuation de cette perte dans les échantillons II et III (en relation avec la force du traitement).

Il note, au contraire, une diminution nette de cette perte après adjonction d'acide chlorhydrique (échantillon IV).

Les critères biologiques montrent:

- une faible digestibilité (53%) de l'échantillon I en relation avec l'insuffisance du traitement;

- une bonne digestibilité (80,20%) de l'échantillon II, mais une mauvaise valeur biologique sans doute en relation avec le faible taux de cystine et méthionine détruits excèssivement par la cuisson intense;

- les échantillons III, IV et V ont une bonne digestibilité avec une valeur biologique très bonne en combinaison avec la caséine. Ces valeurs élevées sont en relation avec la complémentarité qu'il existe entre deux protéines d'une même ration, en l'occurence,ici, la farine de plumes, riche en cystine, et la caséine déficiente en acides aminés soufrés.

EGGUM étudie, à l'aide des échantillons VI à XI, l'effet de la cuisson par "ébullition à reflux", en présence de fortes concentrations d'acide chlorhydrique (Cf tableau page suivante).

Qualités des protéines de farine de plumes après cuisson et traitement par l'acide chlorhydrique (résultats exprimés en g/16 g de N) d'après EGGUM - 1970

	ECHANTILLONS					
ACIDES - AMINES	VI	VII	IIX	IX	X	XI
Lysine	1,85	2,17	2,07	2,08	2,23	2,19
Méthionine	0,75	0,69	0,66	0,68	0,76	0,74
Cystine	8,72	8,02	7,58	6,16	6,06	5,80
Méthionine+Cystine	9,47	8,71	8,24	6,84	7,82	6,54
Acide Aspartique	6,60	6,58	6,54	6,62	6,55	6,37
Thréonine	5,00	4,80	4,86	4,90	4,87	4,69
Sérine	12,52	11,57	12,03	11,97	12,25	11,64
Acide Glutamique	10,92	10,82	11,21	12,15	12,12	11,50
Glycine	7,70	7,27	7,75	7,77	7,97	7,53
Alanine	4,29	4,23	4,27	4,31	4,32	4,17
Valine	7,96	7,41	7,74	7,51	7,73	7,37
Iso-Leucine	5,24	4,89	5,13	5,03	5,15	4,89
Leucine	8,38	7,87	8,20	8,11	8,27	7,84
Tyrosine	2,82	2,94	3,02	3,03	3,11	2,85
Phényl-Alanine	4,82	4,59	4,87	4,71	4,85	4,60
Histidine	0,63	0,75	0,61	0,71	0,63	0,79
Arginine	7,19	6,94	6,92	7,05	7,09	6,83
Tryptophane	0,80	0,69	0,70	0,56	0,62	0,43
N en pourcentage de la matière sèche	15,36	15,34	15,06	15,29	15,30	15,68
N de la farine de plumes en pourcentage de la ration	50,00	50,00	25,00	25,00	25,00	-
Critères biologiques de la protéine TD1	31,00%	30,40%	36,00%	73,10%	71,70%	-
TD2	65,50%	65,20%	84,00%	93,30%	92,90%	-
BV	83,00%	82,40%	79,40%	69,60%	70,50%	-
NPU	54,50%	53,90%	66,80%	64,90%	65,50%	-

TD1 : Digestibilité réelle des protéines de farine de plumes seule

TD2 : Digestibilité réelle des protéines de farine de plumes + caséine.

La cystine et le tryptophane, sensibles à l'hydrolyse acide, se trouvent diminués notamment dans l'échantillon XI; les autres acides aminés ne semblent pas voir leur valeur baisser notablement par une acidité croissante ou par un temps d'hydrolyse plus long.

Par contre, cette cuisson par "ébullition à reflux" en présence d'acide chlorhydrique a un effet néfaste sur les critères biologiques.

Dans les échantillons VI et VII, la cuisson pendant une ou deux heures à pH 4 n'a pas d'effet bénéfique sur la digestibilité bien que la valeur biologique s'en trouve augmentée!

Dans les échantillons IIX, IX et X, la digestibilité augmente avec la durée du temps de cuisson, mais la valeur biologique s'effondre (échantillons IX et X) indiquant que le traitement thermique est trop sévère.

Digestibilité réelle des Acides Aminés de quelques échantillons (résultats exprimés en pourcentage) d'après EGGUM - 1970

ACIDES - AMINES	ECHANTILLONS					
	II	III	IV	V	VI	VII
Lysine	58,30	56,40	61,00	70,30	35,60	34,20
Méthionine	56,70	43,50	49,90	59,40	35,00	35,90
Cystine	67,40	63,50	76,80	78,10	34,70	22,90
Acide Aspartique	66,00	65,40	71,20	76,10	37,50	36,80
Thréonine	73,40	78,30	82,20	83,20	31,10	28,20
Sérine	88,50	92,90	95,30	93,80	36,80	28,10
Acide Glutamique	71,00	66,90	71,80	73,70	32,00	31,30
Glycine	86,40	86,50	88,30	87,80	36,90	30,50
Alanine	81,60	83,30	82,40	84,00	36,50	34,40
Valine	86,80	83,30	85,20	83,70	32,60	25,30
Iso-Leucine	88,70	83,10	83,90	82,60	31,40	24,10
Leucine	86,20	85,20	85,80	85,40	34,40	29,80
Tyrosine	76,70	77,00	76,60	75,20	38,30	44,50
Phényl-Alanine	85,60	90,00	84,70	86,60	26,40	20,20
Histidine	71,00	79,20	82,60	90,20	38,70	37,60
Arginine	87,80	88,20	91,70	89,50	36,50	33,80
Tryptophane	80,70	92,50	97,40	96,30	37,30	35,30
TD de N total	80,20	78,90	80,40	83,80	31,00	30,40

La digestibilité réelle de chaque acide aminé est en relation avec la digestibilité de l'azote total.

Les échantillons IV et V montrent une disponibilité des acides aminés supérieure à celle des autres échantillons, notamment en cystine, arginine et thréonine.

Cette étude montre que la digestibilité réelle et la valeur biologique des protéines des farines de plumes sont fonction du traitement appliqué, mais une augmentation de la digestibilité ne s'accompagne pas automatiquement d'une augmentation de la valeur biologique.

C - Les hydrolyses enzymatiques

Le but poursuivi dans l'élaboration des procédés d'hydrolyse enzymatique, était d'améliorer sensiblement les coefficients d'assimilation des farines de plumes et de diminuer les pertes et dénaturations qui se produisaient au cours des traitements d'hydrolyse classiques souvent trop drastiques.

1° - Hydrolyse enzymatique des plumes de poulets selon le procédé DUCROO et JAKUBCZAK - 1977 (Rapidase-Institut PASTEUR)

DUCROO et JAKUBCZAK - 1977 § 5 § associent plusieurs facteurs: la pression, la chaleur, les réactifs chimiques et les enzymes afin de minimiser les inconvénients apportés par l'utilisation séparée et trop énergique de chacun d'eux, et en espérant une complémentarité ou une synergie dans l'obtention d'une protéine parfaitement assimilable.

Après de nombreuses recherches, ils définissent les bases de leur procédé associant un autoclavage avec un traitement réducteur suivi d'un traitement enzymatique (à l'aide d'une protéase bactérienne alcaline) de douze à vingt-quatre heures.

Ils obtiennent une solution protéique satisfaisante qu'ils sèchent par atomisation.

Description du procédé

Les plumes, fournies par un abattoir industriel, lavées et séchées, sont broyées en particules de quelques millimètres dans un broyeur à marteaux; leur analyse conduit aux résultats suivants (d'après DUCROO et JAKUBCZAK - 1977):

- Humidité	4,70 %
- M.A.T. (N x 6,25)	93,90 %
- Cendres	0,70 %
- M.G. (à l'éther)	1,70 %

On trouvera l'aminogramme des plumes vierges dans les pages suivantes.

De l'eau est additionnée à la poudre de plumes jusqu'à obtenir 20 % de matière sèche.

Le métabisulfite de sodium (Na2 S2 05) est utilisé comme réducteur dans la proportion de 5 % sur poids sec.

Le mélange est autoclavé à 130° C (1,8 bars) pendant une heure puis un refroidissement est opéré à 60° C.

Le pH est corrigé à 8 avec de la soude normale (N).

2,5 % de métabisulfite de sodium et 0,20 % de protéase A 2 sur poids sec sont rajoutés au mélange qui est laissé sans agitation à 60° C pendant douze à vingt-quatre heures.

Les protéines solubilisées sont séparées par centrifugation il peut être procédé au lavage du culot.

Le séchage est réalisé par atomisation.

Cf résultats page suivante.

Composition en acides aminés des plumes vierges et de leur hydrolysat (d'après DUCROO et JAKUBCZAK - 1977)

AMINO-ACIDES	PLUMES AVANT HYDROLYSE g/100g M.S.	PROTEINES SOLUBILISEES g/100g M.S.
Acide aspartique	5,28	5,67
Thréonine	4,29	4,22
Sérine	10,35	9,97
Acide glutamique	9,75	10,53
Proline	8,68	8,43
Glycocolle	5,41	5,33
Alanine	3,24	3,27
1/2 Cystine	7,62	2,72
Valine	5,65	5,42
Méthionine	0,42	0,46
Isoleucine	3,91	3,66
Leucine	6,60	6,46
Tyrosine	2,49	2,81
Phénylalanine	4,14	4,10
Histidine	0,43	0,44
Lysine	1,38	1,52
Arginine	6,13	5,81
Acide cystéique	néant	2,58

Le métabisulfite de sodium est choisi parmi les autres réducteurs en raison de son efficacité supérieure.

La protéase A 2 est une endopeptidase d'origine bactérienne elle a été choisie en raison des paramètres de réactions (pH et température en degrè C), de son coût et de sa facile disponibilité.

Caractéristiques de la Protéase A 2

Nom commercial : PROTEASE A 2
Origine : Bacillus Licheniformis
Activité protéolytique: 197 000 unités PC/g
pH optimum: 9,5 - 10
Zone activité pH : 6,5 - 11
Température optimum: 60° C

La centrifugation sans lavage du culot conduit à un rendement de solubilisation de 67,5 %; après lavage du culot, ce rendement est porté à 86 - 88 %.

La poudre obtenue à partir de la fraction soluble par atomisation contient 87,5 % de protéines (14 x 6,25).

L'hydrolysat ne contient que des traces d'acides aminés libres il n'est constitué que de gros peptides (1/3 de la cystine est perdue et oxydée en acide cystéique).

Le taux de cendres sur sec est de 10,4 %, un dosage du pouvoir réducteur montre la présence de 2,4 % de métabisulfite sur la matière sèche dans la poudre atomisée, le reste des cendres étant constitué de sulfate de sodium.

2° - Hydrolyse enzymatique des plumes de poulets selon le procédé de PRENASETTA - 1982 (19)

Les plumes sont fournies par un abattoir industriel et leur analyse élémentaire s'établit ainsi (d'après PRENASETTA - 1981):

	Composition sur sec en %
M.A.T.(N x 6,25)	92,50 %
M.M.	2,90 %
M.G.	2,80 %
Cellulose brute	1,00 %
E.N.A.	0,50 %
P.	0,52 %
Ca	0,15 %
Na	0,52 %
K	0,22 %
S	0,50 %
Mg	0,15 %
Lysine	1,50 %
Méthionine	0,80 %
Cystine	4,00 %
Solubilité enzymatique des protéines (pepsine - HCl)	10,30 %

Description du protocole d'hydrolyse

Les plumes sont ramenées à 25 % de matières sèches.

PHASE I: Broyage mécanique par un broyeur à couteaux à deux étages de 40 kg de plumes

PHASE II: Addition de 1% de paillettes de soude sur brut
Addition de 1% de sulfure de soude sur brut
Le mélange est laissé à 4° C sans agitation pendant une heure, puis au repos pendant trois heures, il en résulte une pâte noirâtre liquide.

PHASE III : Un oxydant est utilisé pour décolorer la pâte et libérer l'oxygène monoatomique.
De l'acide chlorhydrique est ajouté pour neutraliser le milieu jusqu'à pH 5 - 5,5.
Deux enzymes sont enjoutées.
L'hydrolyse se fait pendant un quart d'heure à froid ou à température ambiante.

PHASE IV : Le produit est déshydraté par cuisson avec agitation.

Réactions chimiques:

$$\text{Concentration de Na OH} = \frac{400\ g}{40.000\ g} = 0{,}01 \not= 0{,}25\ M$$

Concentration de Na2S = 0,01 $\not=$ 0,125 M

Les réactions qui se produisent sont:

à l'abri de l'air: $2(Na_2S) + 2O_2 + H_2O \rightarrow Na_2S_2O_3 + 2\ NaOH$

à l'air : $Na_2S + H_2O + CO_2 \rightarrow Na_2CO_3 + H_2S$

Le pH des réactions est fortement basique

Formation de thiosulfate de soude ($Na_2S_2O_3$)

Devenir des réactifs

En présence d'acide chlorhydrique (H Cl)

$$Na_2S_2O_3 + 2\ HCl \rightarrow 2\ NaCl + H_2O + S + SO_2$$

$$NaOH + HCl \rightarrow NaCl + H_2O$$

$$Na_2CO_3 + 2\ HCl + H_2O \rightarrow 2\ NaCl + H_2CO_3$$

tandis que $H_2CO_3 \rightarrow H_2O + CO_2$

Le pH est légèrement acide (5-5,5) et les protéases se trouvent dans leurs paramètres d'action.

Bilan des matières minérales

1% de NaOH → 0,575 % de Na
1% de Na2S → (0,59 % de Na
(0,41 % de S

Acidification:

1% de H Cl → 0,98 % de Cl

Ce qui donne 2,555 % de matières minérales sur brut.

Composition des plumes vierges et de leur hydrolysat
(d'après PRENASETTA - 1982)

	COMPOSITION SUR SEC EN %		
	Composition des plumes vierges	Ajout de M.Minérales (pour 100kgMS)	Composition de l'hydrolysat
M.A.T. (N x 6,25)	92,50	-	83,90
M.G.	2,80	-	2,60
M.M.	2,90	10,22	11,80
Cellulose brute	1,00	-	0,90
E.N.A.	0,50	-	0,40
P	0,52	-	0,47
Ca	0,15	-	0,14
Na	0,52	4,66	4,70
K	0,22	-	0,20
S	0,50	1,64	1,90
Mg	0,15	-	0,14
Lysine	1,50	-	1,20
Méthionine	0,80	-	0,71
Cystine	4,00	-	3,20
Solubilité enzymatique des protéines (pepsine - HCl)	10,30	-	90,50

Les pertes en acides aminés soufrés sont faibles et la solubilité enzymatique est bonne; il faut cependant noter la présence de sulfate de soude (Na_2SO_4) d'un réducteur (SO_2) et peut-être de soufre.

N.B.: A l'heure où nous rédigeons ce document, il ne nous a pas été possible d'obtenir plus de renseignements sur les paramètres et les doses exactes des réactifs, notamment en ce qui concerne les enzymes utilisées; ceux-ci sont tenus secrets en raison des tractations commerciales qui entourent actuellement ce procédé. Les analyses élémentaires sont évidemment exactes seules les équations chimiques sont présumées exactes.

Troisième Partie

LES TECHNOLOGIES DE TRANSFORMATION DES PLUMES ET L'INFLUENCE DES TRAITEMENTS PHYSICO-CHIMIQUES ET ENZYMATIQUES SUR LA VALEUR NUTRITIONNELLE DES FARINES OBTENUES

-:-:-

Les traitements d'hydrolyse des plumes sont nombreux et variés; cette multiplicité est en relation avec l'insuffisance globale des résultats obtenus, qu'ils soient:

d'ordre technico-économique

- procédés complexes, trop fastidieux,
- besoins en matériels et coût d'énergie trop importants;

ou liés à la valeur intrinsèque du produit obtenu

- importance des pertes et dénaturations au cours de la transformation impliquant une qualité "médiocre" comparée à celle des matières protéiques déjà existantes sur le marché,
- présence de résidus ou produits de réactions toxiques.

Nous envisagerons tout d'abord la place que tiennent les plumes du point de vue de leur composition dans la hiérarchie des protéines utilisées en alimentation animale.

Nous comparerons les différents procédés en analysant les pertes qualitatives provoquées par les différents paramètres.

A - Les protéines kératiniques dans l'alimentation animale

1° - Intérêt de leur composition brute

La kératine représente 85 à 90 % de la matière azotée des plumes (Cf 1ère partie, chapitre B).

Il apparaît que sa composition en acides aminés est intéressante et originale; la kératine est riche en thréonine, arginine, valine et leucine, et très riche en cystine; par contre, les taux d'histidine, lysine et méthionine sont assez faibles.

Composition en acides aminés de la fraction protéique des plumes, de deux autres composés kératiniques et de la farine de soja (résultats exprimés en g/16 g de N)
d'après A.P.R.I.A. 1976

AMINO-ACIDES	Classification de l'amino-acide	Poil de bov. (1)	Plume (1)	Laine (1)	Far. de Soja (2)
Arginine	Indispensable	10,0	8,0	10,1	7,0
Histidine	Indispensable	1,0	0,6	1,0	2,5
Lysine	Indispensable	3,0	1,8	3,1	6,6
Tyrosine	Semi-Indispensable	3,3	2,3	5,5	3,2
Tryptophane	Indispensable	1,2	0,7	1,5	1,2
Phénylalanine	Indispensable	3,0	5,5	4,0	4,8
Cystine	Semi-Indispensable	10,0 à 15,0	8,7	13,6	1,2
Méthionine	Indispensable	1,0	0,5	0,7	1,1
Thréonine	Indispensable	7,7	4,6	6,5	3,9
Sérine	Dispensable	7,6	10,2	9,4	5,6
Leucine	Indispensable	8,0	8,5	8,2	7,6
Isoleucine	Indispensable	4,5	6,4	4,2	5,8
Valine	Indispensable	5,7	8,9	5,4	5,2
Acide glutamique	Dispensable	14,8	10,0	14,0	18,5
Acide aspartique	Dispensable	7,8	7,7	7,4	8,3
Glycine	Dispensable	4,5	-	6,8	3,8
Alanine	Dispensable	-	-	4,0	4,5
Proline	Dispensable	4 à 8	4,0	8,0	5,4

(1) d'après BLOCK et BOLLING - 1951
(2) d'après BLOCK et WEISS - 1956

Considérons maintenant les principaux aliments protéiques et voyons en quoi les protéines des plumes peuvent jouer un rôle.

D'après FERRANDO, JACQUET et MERAT - 1954, la hiérarchie des protides alimentaires par rapport à un étalon qui est représenté par les protides totaux de l'oeuf, s'établit de la façon suivante:

PROTIDES	FACTEUR LIMITANT PRIMAIRE	POURCENTAGE DE DEFICIT
Oeuf entier	-	0
Tournesol	Lysine	-47
Soja cuit	Méthionine	-51
Sésame	Lysine	-61
Arachide	Acides aminés soufrés	-69
Viande	Méthionine	-29
Lait sec	Méthionine	-32
Blé	Lysine	-63
Maïs	Lysine	-72

d'après FERRANDO - 1954

Ce tableau nous montre que, par rapport à l'oeuf considéré comme aliment complet, beaucoup de nutriments classiques ont comme facteur limitant un acide aminé soufré, notamment la méthionine.

De plus, les facteurs limitants n'ont pas la même importance au cours d'un cycle de vie.

Dans l'alimentation des volailles, les acides aminés soufrés sont déjà les facteurs limitants pendant la période de vie normale. Ceux-ci prennent une importance fondamentale au moment de la mue et de la production de plumes.

Il semble, d'après LINTZEL, MANGOLD et STOTZ - 1959 § 9 §, que c'est de la présence et de l'abondance de ces acides aminés soufrés que dépend, pour une part importante, la grandeur de la rétention azotée totale pendant la mue.

Ainsi, chez les poules Rhodes Island rouges, la moyenne de l'oxcrétion d'azote endogène est de 144 mg par Kg de poids vif et par jour; ce chiffre atteint 219 mg en période de mue, mais redescend à 137 mg s'il est ajouté 145 mg de cystine à la ration de ces animaux. La cystine a donc une action d'épargne.

Les acides aminés soufrés peuvent être interchangeables dans une certaine mesure; ainsi la cystine peut palier dans une large mesure à une carence en méthionine comme l'ont montré des travaux effectués par le National Research Council - 1964 § §.

On admet que 40 à 50 % de l'apport en amino-acides soufrés peut être sous forme de cystine.

MITCHELL, BECKER, JENSEN, HARMON er NORTON - 1964 §13 § chez le porc et RAMA RAO, METTA, NORTON et JOHNSON - 1960 §21 § chez le rat, ont montré que l'apport en acides aminés soufrés pouvait être fourni à 70 % par la cystine.

Comparaison entre les besoins en acides aminés essentiels de jeunes animaux et la composition moyenne des kératines (résultats exprimés en g/16 g de N) d'après A.P.R.I.A.-1976

AMINO-ACIDES	Besoins en Acides Aminés*			Composition moyenne des kératines
	Rat	Poulet	Porc	
TRY	1,0	1,0	1,0	1,2
ARG	1,0	6,0	1,5	8,1
HIS	2,0	1,5	2,0	1,0
LYS	5,0	4,5	5,5	2,9
LEU	4,0	7,0	6,0	7,6
ISOLEU	2,5	3,0	3,0	3,9
MET	2,0	2,3	2,0	0,9
PHE	3,5	4,5	3,5	4,0
THR	2,5	3,0	3,0	5,6
VAL	3,5	4,0	3,0	5,8
GLY	0,0	7,5	-	7,1

D'après ce tableau, nous pouvons constater que le poulet a un besoin important en arginine, leucine et glycocolle.

La cystine ne peut se convertir en méthionine mais le besoin en méthionine est égal à environ 40 - 50 % du besoin en méthionine + cystine; les facteurs limitants sont donc la lysine et l'histidine.

Il ressort de ces différentes études que des protéines kératiniques présentant un bon coefficient d'assimilation, peuvent:

- complémenter et/ou améliorer les protéines utilisées en apportant un taux d'acides aminés soufrés important;
- être utilisées comme pourvoyeurs de protéines indifférenciées.

2° - Les farines de plumes traditionnelles en tant que protéines de substitution dans les rations en alimentation animale

Actuellement, les farines de plumes utilisées en alimentation animale sont obtenues par cuisson sous pression et broyage.

Les matières azotées des plumes ainsi traitées sont abondantes mais de qualité médiocre; leur coefficient d'assimilation reste variable en fonction de l'espèce animale considérée.

De nombreuses recherches ont montré qu'elles ne pouvaient entrer dans la composition des aliments qu'à des taux inférieurs à 5 %.

Les farines de plumes sont donc une source concentrée de protéines pouvant servir à augmenter les substances nutritives et la densité énergétique, améliorant ainsi l'efficacité alimentaire tout en réduisant le volume de la ration.

Par ailleurs, la disponibilité des acides aminés est identique (BURGOS et AL - 1974); elle se situe autour de 95 % et est donc comparable aux matières protéiques classiques.

SUMMERS - 1976 §25§ suggère une disponibilité des protéines de plumes de l'ordre de 90 % alors que les valeurs moyennes d'une farine convenablement traitée atteignent 70 à 75 % (digestibilité par la pepsine in vitro).

La valeur de l'énergie métabolisable se situe autour de 2,2 à 2,5 kilocalories par kilogramme et selon SUMMERS - 1969 §24§, cette valeur ne reflèterait pas la réalité et se situerait plutôt autour de 3,047 kilocalories par kilogramme.

La rétention de l'azote de la ration (NABER et MORGAN - 1956) qui constitue une bonne mesure de l'efficacité alimentaire (si le taux protéique de la ration n'est pas limitant), n'est pas réduite par la substitution jusqu'à 5 % d'une partie de l'apport azoté par de la farine de plumes.

Par ailleurs, il semblerait qu'il existe dans la farine de plumes des facteurs de croissance, sans doute en relation avec l'apport d'azote indifférencié, agissant comme un facteur d'appétence, ou avec le développement de fermentations sur les plumes humides stockées avant traitement.

Digestibilité des farines de plumes et des plumes vierges
(d'après Mc CASLAND et RICHARDSON - 1966)

DIGESTION	DIGESTIBILITE	
	VIERGES	HYDROLYSEES
In vivo RATS	7,7	80,3
In vitro PEPSINE	21,5	87,1

Comparaison de différentes farines alimentaires avec la farine de plumes (d'après A.P.R.I.A. - 1976)
Sources: Fats and Proteins Research Foundation Inc

	Farine V et O à 45 % de prot. ⁑	Farine V et O à 50 % de prot. ⁑	Farine Viande à 53 % de prot.	Résidus de graisse à 60 % de prot.	Farine sous-produits de volaille	Farine de Plumes
Protéine,%	45,1	50,4	53,0	60,4	58,8	85,3
Humidité,%	4,5	4,6	4,4	5,3	4,2	4,9
Graisse,%	8,6	8,6	7,1	6,4	13,9	3,3
Fibre,%	2,1	2,8	2,5	2,0	2,3	
Cendre,%	33,5	26,9	25,4	16,3	13,7	2,2
Calcium,%	10,0	8,1	7,4	4,6	3,8	
Phosphore,%	5,1	4,1	3,8	2,5	2,2	
Digestibilité de protéine,%	93,1	90,7	88,3	93,0	85,6	75,5
Acide panto. mg/Kg	4,6	3,5	11,0	3,3	19,4	
Vitamine B_{12} mg/Kg	0,02	0,04	0,11	0,02	0,26	
Riboflavine mg/Kg	1,9	3,7	5,1	1,1	11,2	
Niacine mg/Kg	35,2	42,0	57,3	33,0	101,3	
Arginine,%	3,0	3,5	3,7	3,3	4,0	
Cystine,%	0,20	0,25	0,68	0,38	0,69	4,0
Glycine,%	6,5	6,5	6,3	5,4	5,9	
Histidine,%	1,0	1,2	1,3	2,6	1,5	
Isoleucine,%	1,4	1,4	1,6	1,0	2,0	
Leucine,%	2,3	2,8	3,2	5,8	3,7	
Lysine,%	2,2	2,6	3,0	4,2	2,7	1,7
Méthionine,%	0,53	0,65	0,76	0,66	1,00	0,42
Phénylalanine,%	1,3	1,5	1,7	3,1	2,1	
Thréonine,%	1,2	1,5	1,7	2,2	2,0	
Tryptophane,%	0,17	0,26	0,34	0,65	0,53	
Valine,%	1,7	2,0	2,3	1,0	2,6	

⁑ V et O: Viande et Os

2° - 1 Utilisation chez le poulet

Selon les résultats obtenus par VOGT et STUTE - 1969 §26§ SUMMERS - 1976 §25§, Mac ALPINE et PAYNE - 1977 §11§, l'introduction de la farine de plumes dans une ration bien équilibrée, en substitution à 5 % des protéines apportées par le tourteau de soja, est réalisable sans apport complémentaire d'acides aminés de synthèse; de tels taux sont sans effet défavorable sur la croissance et sur l'efficacité alimentaire.

GUILLAUME en 1968 a montré que l'adjonction de 5 % de farine de plumes dans une ration contenant un niveau insuffisant de protéines (20 %) constituait un apport azoté influant favorablement l'indice de consommation et permettait d'obtenir des poulets moins gras.

Cette caractéristique est mise à profit pour réaliser une déficience en lysine (difficile à effectuer en pratique) dans l'élevage des poulettes de remplacement, favorisant une réduction du poids corporel et un retard de la maturité sexuelle.

2° - 2 Utilisation chez les pondeuses

MORAN et AL - 1969 §14§ ont montré que 5 % de farine de plumes dans un régime bien équilibré ne permettent pas de performances maximales (poids de l'oeuf, ponte); ce frein est levé par un apport supplémentaire en méthionine.

DAGHIR - 1975 §4§, LUONG et PAYNE - 1977 §10§, observent des déficiences dans les concentrations de certains acides aminés avec un taux analogue en farine de plumes.

WISMAN - 1958 §28§ et VOGT - 1970 §27§ montrent que des taux de 4 % de farine de plumes dans une ration de 17 % de M.A.T. permettent de soutenir des performances comparables à celles obtenues avec des matières premières traditionnelles sans présenter d'inconvénients pour l'éclosivité.

2° - 3 Utilisation chez le porc

Selon FULLER - 1973 § 7 §, la farine de plumes constitue une protéine excellente en remplacement du 1/3 ou des 2/3 de la protéine de soja de la ration, sans addition supplémentaire d'acides aminés.

Les résultats ont montré que la moyenne quotidienne de gain pour les porcs recevant une ration alimentaire à faible teneur en farine de plumes était aussi bonne que celle des porcs nourris avec la ration de contrôle et qu'ils consommaient moins d'aliments par unité de gain.

Les coûts d'aliments pour chaque livre de gain étaient moins élevés pour les porcs recevant la ration à faible teneur en farine de plumes

COMBS - 1958 § 3 § compare une ration contenant 5 %, 7,5 % et 10 % de farine de plumes, à une ration de base contenant du maïs et du soja.

Il ne note pas de différence entre le régime de base et celui contenant 5 % de farine de plumes; une carence en lysine apparaît à 7,5 % de farine de plumes car il est bien connu que les besoins en lysine des jeunes porcs sont élevés.

En conclusion, un apport de tourteau de soja et de farine de plumes dans le rapport 2/1 convient parfaitement comme source protéique de la ration à des jeunes porcs en croissance.

2° - 4 Utilisation chez les ruminants

Chez les ruminants, l'équilibre des acides aminés n'a pas la même importance que dans les rations alimentaires des non-ruminants.

C'est pourquoi les protéines des farines de plumes peuvent remplacer n'importe quel complément protéique sur la base d'une unité protéique.

Selon FULLER § 7 §, elle peut remplacer tous les compléments de protéine végétale à condition que les animaux soient accoutumés.

RAKES § 20 § ajoute jusqu'à 9,7 % de farine de plumes dans un concentré de ration de vaches laitières en remplacement des protéines végétales.

Après une période d'adaptation de quinze jours, il ne constate aucune diminution importante de la consommation de fourrage et pas de baisse de la production de lait et de matières grasses.

KENNETT et BULL - 1972 § 8 §, expérimentent sur des vaches HOLSTEIN en lactation avancée, des taux de farine de plumes encore plus élevés; ils augmentent petit à petit le taux de farine de plumes dans le concentré (24 % de protéines brutes) jusqu'à la valeur de 20 %. Dans un dernier temps, ils recherchent le seuil d'ingestion maximal de farine de plumes en augmentant de 0,9 Kg par jour le concentré.

Il n'y a aucun refus jusqu'à 18 Kg de concentré par jour ce qui représente 3,6 Kg de farine de plumes ingérés; la production laitière n'a jamais été affectée au cours des expériences.

La farine de plumes peut aussi remplacer les protéines végétales dans l'alimentation des bovins et des moutons à l'engraissement à condition de raisonner en "équivalents protéiques".

WRAY - 1979 § 29 §, compare la valeur nutritionnelle des kératines hydrolysées et des farines de soja sur des lots de jeunes bovins en remplaçant la farine de soja du complément protéique par de la farine de plumes à des taux variant de 19 à 31 %.

Il mesure les gains quotidiens, les indices de consommation et les caractéristiques des carcasses obtenus.

Les farines kératiniques substituées à des taux élevés n'ont pas d'effet négatif, mais chaque unité de gain nécessite une consommation accrue d'aliments.

Selon MORRISON - 1971 §16 §, si le complément protéique de la ration est de bonne qualité, 45 % de celui-ci peuvent être remplacé par de la farine de plumes.

L'intérêt des farines de plumes produites actuellement, réside dans un apport de protéines banales qui ne peut dépasser un certain pourcentage des rations protidiques.

Elles doivent être considérées comme fournisseuses d'azote indifférencié qui peut être un facteur d'épargne de protéines plus nobles.

De plus, les disparités de composition obtenues en relation avec leurs traitements, impliquent leur utilisation aux animaux adultes ou en finition.

N.B.: Pour certains usages spéciaux tels que le gavage des oies, ce déséquilibre en acides aminés peut être intéressant provoquant l'hypertrophie du foie, des recherches sont en cours à ce sujet.

B - Influence des traitements physico-chimiques et enzymatiques sur la valeur nutritionnelle des farines de plumes

1° - Problèmes posés par le traitement de la kératine de plumes

La composition élémentaire de la kératine est intéressante et originale. Sa richesse en ponts disulfures lui confère des caractères de résistance vis à vis de l'hydrolyse des enzymes protéolytiques la rendant ainsi indigestible à l'état naturel.

Il est donc nécessaire d'avoir recours à des traitements en vue d'améliorer sa digestibilité.

La kératine est une protéine, elle est donc sensible aux phénomènes de dénaturation provoqués par les traitements physiques et chimiques.

La farine obtenue devra donc tenir compte des contraintes liées à sa fabrication et à sa commercialisation.

Contraintes liées à la valeur biologique:

- les pertes en acides aminés (destruction importante de la cystine) doivent être faibles afin de préserver l'originalité et l'intérêt de la kératine en tant que protéine;
- il ne doit pas y avoir d'acides aminés libres;
- la farine de plumes doit être constituée de gros peptides ce qui est souhaitable en alimentation animale;
- la digestibilité doit être bonne;
- l'apparition de produits de réactions inutiles ou toxiques doit être évitée (désamination, formation de lanthionine et de lysinoalanine).

Contraintes liées à l'industrialisation du procédé:

- le procédé doit être simple;
- les produits chimiques utilisés doivent être peu coûteux et non toxiques;
- le coût du traitement doit être aussi peu élevé que possible afin que le produit fabriqué reste compétitif vis à vis des produits déjà utilisés.

Contraintes liées à la législation communautaire:

- selon les réglements communautaires, la farine de plumes devra posséder une digestibilité d'au moins 75 %,des teneurs maximales de 11 % d'eau et de 0,03 % de cendres;
- la présence de produits chimiques résiduels dans les cendres devra faire l'objet d'une demande d'autorisation appuyée par des essais biologiques et des tests d'innocuité.

2° - Etude comparative des différents procédés

2° - 1 Les hydrolyses chimiques

Il est facile de solubiliser totalement la kératine de plumes par des moyens uniquement chimiques; il s'agit, en général, de traitements drastiques provoquant des pertes et dénaturations trop importantes.

Ainsi, le traitement par la soude provoque une perte importante en acides aminés, notamment en cystine; la production de polypeptides est faible et les acides aminés se retrouvent libres; le produit final a un aspect noirâtre et une odeur "sui generis".

L'oxydation par le réactif de SCHWEITZER donne de bons résultats les pertes en acides aminés sont minimes, la cystine n'est pas transformée en lanthionine (signe de dénaturation), mais se retrouve sous forme d'acide cystéique; une forte teneur en cuivre est présente dans le milieu.

La solubilisation par le diméthylformamide (DMF) fait apparaître un déficit au niveau des acides aminés basiques (lysine, histidine, arginine), la cystine peut être perdue sans se transformer en acide cystéique; la digestibilité de ce produit ainsi que l'éventuelle toxicité du DMF n'ont pas été vérifiées.

Enfin, l'action de la chaux hydratée sur la kératine de plumes conduit à une hydrolyse incomplète en relation avec une faible digestibilité.

2° - 2 Les hydrolyses par la vapeur

L'hydrolyse est réalisée par cuisson sous pression dont le rôle est de rompre les chaînes protéiques en éléments plus petits.

Quelques auteurs ont préconisé l'adjonction d'accélérateur de réaction mais il semble admis aujourd'hui que, si ceux-ci améliorent sensiblement les résultats, ils posent des problèmes d'ordre technique (ex: action corrosive de l'acide chlorhydrique sur les autoclaves) et/ou réglementaires (législation communautaire).

C'est pourquoi ils ont été abandonnés.

Nous avons vu précédemment qu'il existait une grande disparité dans les caractéristiques des farines de plumes provenant du secteur industriel; en fait deux facteurs responsables de cette variation, influent sur la qualité des farines:

- le traitement lui-même: l'hydrolyse (durée de cuisson, température, pression);
- les conditions de stockage avant et après le traitement.

L'activité du traitement peut s'exprimer par le degré de dégradation de la cystine. Avec une hydrolyse menée dans de bonnes conditions, le taux de cystine des plumes passe de 8 à 3,5 % en moyenne.

La perte de la cystine s'accompagnant de formation de lanthionine et sans doute d'autres composés contenant du soufre.

A l'analyse des résultats (Cf 2ème partie, chapitreB), nous pouvons penser qu'il existe une relation directe entre la teneur en cystine de la farine de plumes et la digestibilité de ses protéines et ainsi que la digestibilité des protéines de plumes s'accroît parallèlement avec la perte de la cystine.

Il suffirait donc d'accroître la durée et la température de cuisson pour améliorer la digestibilité.

En réalité, nous constatons qu'une hydrolyse plus longue à température plus élevée n'amène pas les bénéfices escomptés et si elle provoque une amélioration de la digestibilité (plus de 85 %), l'hydrolyse agissant sur tous les composants, elle s'accompagne de la destruction de certains acides aminés ce qui fait baisser l'efficacité protéique.

Inversement, une hydrolyse insuffisante se traduit par une digestibilité trop faible (moins de 65 %).

FULLER § 7 § préconise une pression ambiante de 30 à 40 livres pendant 30 à 45 minutes puis celle-ci est relâchée et la bouillie est encore cuite pendant une heure.

Pour EGGUM § 6 §, une montée croissante de la pression jusqu'à 3,2 atmosphères pendant 45 minutes et un retour à la normale pendant ce même temps, confère à la farine les meilleures caractéristiques.

Selon MORRIS et BALLOUN § 15 §, une augmentation de la pression au dessus de 2,5 atmosphères pose des difficultés techniques et n'apporte pas d'améliorations.

Pour MENARD § 12 §, une bonne solution de compromis consiste à appliquer aux plumes contenant 30 % d'eau une pression de 2,5 Kg par centimètre-carré pendant une heure, ce qui permet d'obtenir une bonne digestibilité (75 %) sans destruction importante des acides aminés essentiels.

En conclusion, il convient de demeurer dans les limites fixées par MORAN et AL § 14 §, c'est-à-dire entre 142 et 153°C pendant 30 à 60 minutes.

2° - 3 Les hydrolyses enzymatiques

L'originalité de l'hydrolyse enzymatique réside dans l'association de facteurs physico-chimiques et enzymatiques à des seuils où l'effet dénaturant sur les protéines kératiniques ne sont pas atteints.

Les deux procédés actuellement mis au point apportent déjà de nettes améliorations par rapport aux procédés classiques.

DUCROO et JAKUBCZAK § 5 § obtiennent un rendement de solubilisation de 88 %, l'hydrolysat contient 87,5 % de protéines (sous forme de gros peptides ce qui est souhaitable en alimentation animale) et un taux de cendres de 10,4 %.

Les pertes en acides aminés sont insignifiantes exceptée la cystine dont le tiers est oxydé en acide cystéique.

Un dosage du pouvoir réducteur montre la présence de 2,4 % de métabisulfite sur sec.

Ce procédé comporte quelques inconvénients cependant; le taux de cendres est trop élevé en regard de la réglementation communautaire, une partie de la cystine est perdue et il reste des traces du réducteur dans la farine.

De plus, dans le contexte économique actuel (coût énergétique démesuré), il ne semble pas possible de mettre en oeuvre un tel procédé car me traitement d'une charge de plumes nécessite un cycle de douze à vingt-quatre heures au minimum avec un abaissement de la température des autoclaves (au cours des différentes phases) de 130 à 60° C!

Si l'on considère l'inertie thermique d'un tel appareil, ces changements de température sont tributaires d'une dépense énergétique trop lourde.

PRENASETTA §19§ obtient un taux de solubilisation de 90,5 % . La farine obtenue contient 83,9 % de protéines avec un taux de cendres égal à 11,8 %.

Les pertes en acides aminés sont négligeables et un cinquième seulement de la cystine est oxydé en acide cystéique.

Les inconvénients sont liés à la présence dans le produit final de traces de réducteur (SO2) en relation avec un taux de cendres élevé; de plus, il subsiste une certaine quantité de sulfate de soude (effet purgatif) et de soufre.

L'hydrolyse enzymatique améliore sensiblement les qualités des farines de plumes.

Les problèmes actuellement posés se situent au niveau de la réglementation et de la toxicité éventuelle des résidus présents.

Quatrième Partie

ETUDE ECONOMIQUE

-:-:-

Nous allons à l'aide de l'étude économique prévisionnelle suivante, évaluer le prix de revient d'une farine de plumes obtenue par hydrolyse enzymatique selon le procédé PRENASSETTA.

Pour une installation traitant 130 tonnes de plumes par mois, soit 6,4 tonnes par jour, à 25 % de matière sèche, les données sont les suivantes.

A - Investissements

1° - Matériels

1 trémie de réception
1 broyeur à double étages (couteaux-couteaux)
1 cuiseur-déshydrateur (6.000 litres)
1 vis sans fin
1 mélangeur-refroidisseur
1 élévateur à godets
1 trémie de stockage

Coût des matériels: 1.200.000,00 F H.T.

2° - Génie civil

100 M2 à 500 F le mètre carré soit 50.000,00 F H.T.

Coût des investissements: 1.250.000,00 F H.T.

3° - Recettes

490 tonnes environ de farine à 90 % de matière sèche
à 3,50 francs le Kg, soit : 1.715.000,00 F de recettes annuelles

B - Amortissements

- Equipements sur SEPT ans;
- Génie civil sur QUINZE ans.

Soit un amortissement annuel de:

$$\frac{1.200.000}{7} + \frac{50.000}{15} = 174.761,9 \text{ F arrondi à:}$$

175.000,00 Frs H.T.

C - Frais Financiers

Emprunt à 14 % sur sept ans à annuités constantes.

D - Coût d'exploitation (annuel)

1°- Energie

- fuel ou gaz (1.200 tonnes d'eau à évaporer) soit: 240.000,00
- électricité (88.000 KWH) soit: 35.500,00

2°- Main d'oeuvre

- un ouvrier à mi-temps soit: 60.000,00

3°- Entretien-Maintenance 1.500,00

TOTAL ANNUEL: 345.000,00 FHT

E - Compte d'exploitation prévisionnel (en KF)

	1	2	3	4	5	6	7
Recettes	1715	1715	1715	1715	1715	1715	1715
Frais d'exploitation	345	345	345	345	345	345	345
Amortissement	175	175	175	175	175	175	175
Résultat net d'exploitation	1195	1195	1195	1195	1195	1195	1195
Rentabilité de l'investis. en %	77,6	87,5	100,4	-	-	-	-
Frais Financ.	238	204	187	153	119	85	51
Résultat net	957	991	1008	1042	1076	1110	1144

La rentabilité est excellente car le retour de l'argent investi est assuré en un an et demi.

Mais il faut déduire le prix du brevet ou, en tout état de cause le prix du traitement qui pour l'instant est estimé à 0,15 franc par Kg soit 73,5 KF (73.500,00 francs) par an.

De plus, le prix de vente des farines (3,50 F/Kg) ne tient pas compte des frais de conditionnement (0,05 F/Kg) et de commercialisation (0,10 à 0,15 F/Kg).

L'ensemble de ces coûts annexes permet de penser qu'une pareille installation peut être amortie en deux ou trois années, ce qui reste intéressant.

C O N C L U S I O N

Les farines de plumes présentent un intérêt certain dans l'alimentation animale.

Pour prétendre occuper un rang honorable parmi les sources protidiques bien considérées, elles doivent répondre à deux exigences:

- une précision et constance de leurs caractéristiques permettant de les inclure sans risque dans des rations alimentaires

- un prix non dissuasif et stable.

Ces exigences n'ont pas toujours été respectées de par le passé et c'est sans doute la cause du peu d'intérêt manifesté par les divers utilisateurs.

La rationalisation des procédés classiques et le développement de l'hydrolyse enzymatique devraient attirer l'attention sur ces sources azotées trop souvent gaspillées réduisant ainsi le déficit en protéines, et par là même une dépendance extérieure trop coûteuse vis à vis du tourteau de soja.

C'est avant tout, dans l'organisation et le respect des modes de collecte et des règles de leur traitement, que les protéines kératiniques acquèront la crédibilité qu'elles méritent.

Vu : Le Professeur de l'Ecole Vétérinaire rapporteur

Professeur GRIESS

Vu : Le Directeur de l'Ecole Vétérinaire

Professeur R. LAUTIE

Vu : Le Président de la Thèse

Professeur ECALLE

VU ET PERMIS D'IMPRIMER
Toulouse, le 5-7-1982
Le Président de l'Université
Paul Sabatier

Professeur D. BANCEL

B I B L I O G R A P H I E

§ 1 § ANONYME - Rapport ITAVI-APRIA 1976- Valorisation du cinquième quartier en production avicole
Itavi : 28 rue du Rocher 75008 Paris
Apria : 35 rue du Général Foy 75008 Paris

§ 2 § BURGOS (A.), FLOYD (JI.), STEPHENSON (EL.) -1974- The amino acid content and availability of different sample of poultry by product meal, and feather meal.
Poultry Science - 53 - (198 - 203)

§ 3 § COMBS (GE.), ALSMEYER (WL.), WALLACE (HD.) -1958
Journal of animal science - 17 - (468)

§ 4 § DAGHIR (NJ.) - 1975
Studies on poultry by product meals in broilers and layer rations.
World's poultry science journal - 31 (3) - 200 - 211

§ 5 § DUCROO (P.), JAKUBCZAK (E.) - 1977
Valorisation des sous-produits protéiques au moyen de techniques enzymatiques.
Rapidase : 15 Rue des Comtesses 59 113 SEDLIN
Institut Pasteur : Domaine du Certia 59 650 Villeneuve d'Ascq

§ 6 § EGGUM BJORN (O.) - 1970
Evaluation of protein quality of feather meal under different treatments - Departement of animal physiology and chemistry Copenhagen
Acta Agriculturae Scandinavia - 20 (4) - (230 - 234)

§ 7 § FULLER (H.) - 1973
Farine de plumes - F (307)
Technical Newsletter - National Renderers Association Inc
15-21 Rue Archimède 1040 BRUXELLE - BELGIQUE

§ 8 § KENNET (WS.), BULL (LS.) - 1972
Proc Nutr Conf for feed Mfrs - March 16-17 - Washington DC (89-92)

§ 9 § LINTZEL, MANGOLD, STOLZ - 1959
Précis d'alimentation du poulet -(28)
R.FERRANDO - 1959 - Ed. VIGOT Fres

§ 10 § LUONG (Van B.), PAYNE (CG.) - 1977
Hydrolysed feather protein as a source of amino acids for laying hens
British Poultry Science - 18 -(523 - 526)

§ 11 § Mc ALPINE (R.), PAYNE (CG.) - 1977
Hydrolysed feather protein as a source of amino acids for broilers
British Poultry Science - 18 -(265 - 273)

§ 12 § MENARD (S.) - 1978
Les résidus d'abattoir de volailles, leur récupération et leur traitement
Courrier avicole - 702 - (29 - 32)

§ 13 § MITCHELL (JR.), DE BECKER JENSEN (AH.), HARMON (BG.) NORTON (HW.) - 1964
Journal of animal science - 23 - (1215 - 1216)

§ 14 § MORAN (ET.), SUMMERS (JD.), SLINGER (SJ.) - 1966
Keratin as source of protein for the growing chick
Poultry science - 45 - (1257 - 1255)

§ 15 § MORRIS (WC.), BALLOUN (SL.) - 1973
Evaluation of five differently processed feather meals by nitrogen retention, net protein values, xanthine deshydrogenase, activity and chemical analysis
Poultry science - 52 - (1075 - 1084)

Effet of processing methods on utilization of feather meal by broiler chicks
Poultry science - 52 - (858 - 866)

§ 16 § MORRISSON (SH.) - 1971
Feedstuffs (Dec 11-22)
Copyright 1971 - The miller publishing company

§ 17 § NAGAI, NISHIKAWA (T.) - 1970
Alkali solubilization of chicken feather keratin
Agro biological chemistry Vol.34 N°1 (16 - 22)

Solubilization of chicken feather keratin by ammonium copper hydroxide
Agro biological chemistry Vol.35 N°4 (1039 - 1043)

§ 18 § National Research Council - 1964
Nutr. Req. of Dom. Anim. N° 2
Nutr. Req. of swine Rept. Com. Anim. Nut. - Publ 1192
Nat. Acad.Science - Washington Dc 1964

§ 19 § PRENASETTA - 1982 (BARCELONE)
AGRO-DEVELOPPEMENT 13 Rue Paul Valéry - 75 775 PARIS

§ 20 § RAKES (AH.), DAVENPORT (DG.), PETTYJOHN (JD.) LINNERUD (AC.)- 1968
Hydrolysed feather meal as a protein supplement for lactating dairy cow
Journal of dairy science - 51 - 10 - (1701 - 1702)

§ 21 § RAMA RAO, METTA (VC.),NORTON (HW.), JOHNSON (BC.) - 1960
Journal of nutrition - 71 - (361 - 365)

§ 22 § SALICHON (Y.) - 1980
Caractéristiques et valeur alimentaire des déchets d'abattoirs de volailles pour le poulet et la poule pondeuse
BTI-346 - PS poule 344 - INRA - CR Tours-Nouzilly 37 380 Monnaie

§ 23 § Source du Ministère de l'Agriculture - 1980
Direction de la qualité - Rapport d'activité de la D.S.V.

§ 24 § SUMMERS (JD.) - 1969
Feedstuffs March 15 - (36 - 37) U - GUELF

§ 25 § SUMMERS (JD.) - 1976
Feathermeal and the potential of other keratin for poultry
18 Feedstuffs March 29

§ 26 § VOGT (H.), STUTE (K.) - 1969
Der Einsatz von federmehl im geflügelmasfutter
Archiv für geflügelkunde (33) - (247 - 258)

§ 27 § VOGT (H.) - 1970
Der Einsatz von federmehl im legenhennen alleinfutter
Archiv für geflügelkunde (34)(5) - (194 - 195)

§ 28 § WISMAN (EL.), HOLMES (CE.), ENGEL (RW.) - 1958
Utilisation of poultry by products in poultry rations
Poultry science - 37 - (834)

§ 29 § WRAY (M.), BEESON (WM.), PERRY (RW.), MOLHER (MT.), BAUGH (E.)
1979 - Effect of soybean, feather and hair meals and fat on the performance of growing finishing`beef-cattle
Purdue University West Lafayette IN 47 907
Journal of animal science Vol.48 N° 4 (748 - 757)